MÉMOIRE SUR LA TRANSMISSION LIBRE DE LA CHALEUR RAYONNANTE...

Macedonio Melloni

MÉMOIRE

SUR LA

TRANSMISSION LIBRE

DE LA

CHALEUR RAYONNANTE

PAR DIFFÉRENS CORPS SOLIDES ET LIQUIDES;

PRÉSENTÉ A L'ACADÉMIE DES SCIENCES LE 4 FÉVRIER 1833

PAR M. MELLONI.

Mariotte est, à ma connaissance, le premier physicien qui ait tenté d'apprécier l'action des substances diaphanes pour transmettre ou intercepter le rayonnement calorifique provenant des sources terrestres. Après avoir observé que la chaleur solaire concentrée au foyer d'un miroir métallique, ne perdait pas sensiblement de son intensité en la faisant passer à travers une lame de verre, il transporta son appareil devant le feu d'une cheminée, et trouva qu'à une distance de cinq à six pieds, l'image

réfléchie au foyer du miroir était d'une température insupportable à la main, lorsque les rayons s'y réunissaient librement; mais qu'en interposant la lame de verre, on n'avait plus aucune sensation de chaleur, quoique l'image conservât encore tout son éclat. Il en conclut que la chaleur du feu terrestre *ne passe point à travers le verre*, *ou bien qu'il y en passe très peu* (1).

Schéele répéta la même expérience cent ans environ après Mariotte, mais il ne se tint pas dans la sage reserve de cet ingénieux physicien; car il assura que, lors de l'interposition du verre, *on n'avait pas la moindre chaleur* au foyer du miroir (2). L'inexactitude d'une telle assertion, fut bientôt relevée par Pictet, au moyen de l'appareil connu sous le nom de *miroirs conjugués*. On plaça un carreau de verre bien transparent entre la chaleur d'une bougie concentrée par l'appareil, et un thermomètre; le mercure monte en quelques instans de plusieurs degrés; il y eut encore élévation sensible de température lorsqu'on substitua à la bougie un matras rempli d'eau bouillante (3).

Quelques années plus tard, Herschel entreprit sur le même sujet une série très étendue d'expériences. elles se trouvent décrites dans le volume des Transactions philosophiques pour l'année 1800. L'auteur ne se sert d'aucun

(1) Mariotte, *Traité de la nature des Couleurs*; Paris, 1686, 2e partie, à la fin de l'introduction.

(2) Schéele, *Traité de l'Air et du Feu*; Paris, 1781, § 56. L'ouvrage original de Schéele a été publié en 1777. — Mariotte est mort en 1684.

(3) Pictet, *Essai sur le Feu*, § 52 et suivans.

artifice pour augmenter l'action des rayons de chaleur, et se contente de mesurer directement l'effet calorifique en fixant le thermomètre à une très petite distance du corps diaphane.

Mais on éleva des doutes sur les conséquences de ces divers résultats. On objecta qu'une partie de la chaleur rayonnante s'arrêtait d'abord à la première surface du verre, qu'elle s'y accumulait peu à peu et se propageait ensuite de couche en couche jusqu'à la surface postérieure, et que de là elle recommençait à rayonner sur le thermomètre. On soutint même que la presque totalité de l'effet dérivait de ce mode de propagation ; bref, on en vint jusqu'à nier entièrement la transmission libre de la chaleur lancée par les corps terrestres, à travers les substances diaphanes différentes de l'air atmosphérique.

Cette opinion était erronée, M. P. Prévost le démontra par un moyen très ingénieux. Ayant fixé au tuyau d'une fontaine un ajutage de deux lames parallèles, il en obtint une nappe d'eau de l'épaisseur d'un quart de ligne environ : il plaça d'un côté un thermomètre à air, et de l'autre une bougie allumée ou un fer chaud : le thermomètre monta presque toujours de quelque fraction de degré (1). Or, il est bien évident que dans ce cas, la *propagation successive* par les différentes couches de l'écran sans cesse renouvelé, ne pouvait s'effectuer : on fut donc contraint d'admettre, que les rayons

(1) *Journal de Physique, de Chimie, Histoire naturelle et des Arts*, par M. Delametherie, année 1811. — P. Prévost, *Mémoire sur la transmission du Calorique à travers l'eau et d'autres substances*, § 42 et 43.

de chaleur traversaient quelquefois les milieux diaphanes autres que l'air atmosphérique d'une manière immédiate, comme cela arrive constamment pour les rayons de lumière.

Cependant le procédé de M. Prévost ne pouvait guère s'appliquer aux corps solides, et il était par conséquent impossible de décider s'il y avait ou non du calorique transmis immédiatement dans les écrans de verre. Ce dernier problème fut résolu complètement par Delaroche, au moyen d'une méthode inventée par Maycock (1). Elle consiste à observer d'abord le thermomètre comme dans les cas précédens, c'est-à-dire, lorsque les rayons caloriques tombent sur lui après avoir traversé la lame de verre : on obtient ainsi une mesure complexe des effets produits par la transmission immédiate et par la conductibilité des couches que nous avons appelée propagation successive, il suffit de connaître l'une d'elles pour avoir la valeur de l'autre. Or, on détermine facilement l'influence de la conductibilité, en répétant l'expérience après avoir noirci avec de l'encre de Chine, la surface de la lame tournée du côté de la source calorifique; il est clair que, dans ce cas, le rayonnement immédiat étant intercepté, l'élévation de température au-delà de la lame ne pourra plus provenir que du calorique dérivé de la conductibilité des couches. Si cette quantité est moindre que la primitive, on aura une preuve certaine de transmission immédiate. C'est, en effet, ce qui arriva

(1) Nicholson, *A Journal of natural philosophy, chemistry and the arts*, vol. 6. May and june 1810. — J. D. Maycock, *Remarks on profess. Leslie doctrine of radiant heat*

dans presque toutes les expériences de Delaroche; je dis presque toutes, car il se trouva que la quantité de chaleur transmise librement variait avec la température de la source calorifique : elle était nulle pour les températures inférieures à celle de l'eau bouillante, et surpassait la moitié de la quantité totale lorsqu'on employait une lampe d'Argant (1).

Il ne peut s'élever aucun doute sur la vérité de cette belle découverte de Delaroche; et cependant la méthode qu'il a employée pour mesurer les quantités de chaleur transmises librement est loin d'être exacte, surtout lorsqu'il s'agit des températures élevées. Pour expliquer cette espèce de paradoxe, je ferai observer deux choses : 1° la différence due au changement dans l'état de surface entre les deux quantités de chaleur qui pénètrent le verre par voie de conductibilité; 2° la différence entre ces mêmes quantités provenant de l'interception totale ou partielle du rayonnement calorifique.

Il est bien prouvé par les expériences de Leslie et d'autres physiciens, que le verre noirci à l'encre de la Chine absorbe tous les rayons de chaleur, tandis que dans son état naturel il en réfléchit un certain nombre : donc la quantité de chaleur qui pénètre l'écran sera plus forte dans le premier cas que dans le second. Cependant comme le verre poli ne réfléchit qu'une très petite portion de rayons caloriques, l'erreur provenant de la différence de l'état de surface, se réduit à fort peu de

(1) *Journal de Physique, de Chimie, etc.*, par Delametherie, année 1812. — Delaroche, *Observations sur le Calorique rayonnant*.

chose, et peut être négligée sans inconvénient; mais il n'en est plus de même, lorsqu'on examine l'erreur produite par l'interception totale ou partielle de l'irradiation calorifique. En effet, dans certaines expériences de Delaroche, il passait immédiatement à travers l'écran naturel la moitié *au moins* des rayons incidens: ainsi, l'autre moitié *seule* était arrêtée à la première surface du verre; l'effet de conductibilité ne pouvait être attribué qu'à cette seule moitié, tandis que l'écran noirci arrêtant la totalité du rayonnement, se trouvait réellement exposé à une chaleur deux fois plus forte, et devait produire un effet de conductibilité bien supérieur au précédent. En ôtant de l'observation fournie par le verre diaphane, l'observation provenant du verre noirci, on ne pourra donc obtenir qu'un résultat inférieur à la vraie température des rayons librement transmis. Mais l'erreur ne sera pas égale dans tous les cas; d'abord nulle pour le rayonnement de l'eau bouillante, elle augmentera avec la température de la source : par conséquent, les mesures des rayonnemens libres qui auront à souffrir la plus grande diminution, seront celles appartenantes aux températures élevées; il en résulte évidemment que cette dernière cause d'erreur dans la mesure de l'irradiation immédiate, au lieu d'infirmer la loi de Delaroche, ne fait que la rendre encore plus certaine; il était donc permis de dire, comme nous l'avons avancé, que l'inexactitude de la méthode n'influe pas sur la vérité de la loi qu'elle a servi à établir.

On doit aussi à Delaroche une découverte non moins importante que la première, relativement à la différence de perte que les mêmes rayons de chaleur subissent en

traversant successivement deux carreaux de verre; mais je n'entrerai pour le moment dans aucun détail sur ce sujet, car nous aurons occasion d'en parler par la suite (1).

Dans les divers travaux que nous venons d'examiner succinctement, on ne s'est nullement occupé de la comparaison exacte entre les transmissions des rayons calo-

---

(1) Je ne dois pas passer sous silence que malgré les résultats de Delaroche, des physiciens du plus grand mérite (et il me suffira de citer dans ce nombre Laplace et M. Brewster) ont continué à nier la transmission immédiate de la chaleur par les corps solides transparens; leur principale objection se fondait sur une expérience du même auteur, de laquelle on déduit qu'un verre épais interceptait une plus grande quantité de chaleur rayonnante qu'un verre mince, quoique sa transparence fût beaucoup plus parfaite. On persistait à voir dans ce fait la présence et l'action de la chaleur propagée successivement de l'une à l'autre surface; et on attribuait en conséquence toutes les élévations de température observées en-delà des écrans au calorique de conductibilité. Cette opinion ne peut plus se soutenir après les résultats qui m'ont été fournis par l'application du thermo-multiplicateur à ce genre de phénomènes; car on verra plus loin que l'action calorifique à travers une couche transparente est instantanée, et que le temps nécessaire à l'instrument pour en marquer l'effet total ne change ni avec la nature ni avec l'épaisseur des écrans. Que l'on reçoive sur la pile thermo-électrique les rayons directs d'une source constante de chaleur, qu'on les fasse traverser auparavant un écran diaphane quelconque d'un ou de cent millimètres d'épaisseur, l'aiguille indicatrice du galvanomètre se met en mouvement *dès que les communications sont établies*, et s'arrête après avoir parcouru un arc plus ou moins grand *dans un intervalle constant*, qui, pour mon appareil, est de 90 secondes.

riques par les écrans de différente nature, et si on en excepte les expériences de M. Prévost et celles d'Herschel, dont on ne peut tirer aucune conséquence, toutes les autres ont eu pour but de déterminer les lois de la transmission dans une seule substance, le verre. On n'a pas non plus étudié l'influence de l'état de surface, de l'épaisseur des couches et de leur structure interne sur les quantités de chaleur qui les traversent librement. J'ai tâché de remplir ces différentes lacunes, mais la carrière était trop vaste pour moi; plusieurs chapitres sont restés nécessairement incomplets. J'espère pouvoir en reprendre quelques-uns par la suite, et les traiter d'une manière moins imparfaite.

En attendant, j'offre à l'Académie les résultats de mes premières recherches. Je les ai distribués en deux mémoires. Celui que je présente actuellement contient la description de la méthode que j'ai suivie dans la mesure de la transmission calorifique, et son application au cas d'une source calorifique constante agissant sur des corps de diverse nature. J'exposerai dans le second les faits qui tiennent à la succession des écrans et aux variations des sources.

Considérations générales sur la transmission libre du calorique à travers les corps, et sur la manière d'en avoir la mesure au moyen du thermo-multiplicateur.

Nous avons déjà observé qu'un écran de substance diaphane, placé à une certaine distance d'une source calorifique, arrête une portion des rayons qui frappent sa première surface, tandis que le reste passe librement à travers son épaisseur. Nous avons remarqué en outre

qu'après un certain temps, la chaleur arrêtée à la surface antérieure et accumulée par les rayonnemens successifs, parvient de couche en couche jusqu'à la seconde surface d'où elle commence à rayonner dans l'espace ; et que cette irradiation se mêlant à la chaleur qui continue de traverser l'écran par voie immédiate, empêche qu'on ne puisse la mesurer avec exactitude.

Dans le cas des liquides, on peut toujours détruire l'influence de la conductibilité des couches en renouvelant sans cesse la matière de l'écran par des moyens analogues à la nappe d'eau de M. Prévost ; mais cet artifice serait d'une application fort difficile et souvent impossible pour les corps solides et même pour les liquides que l'on ne peut obtenir qu'en petite quantité. Pour atteindre le même but d'une manière générale et rendre en quelque sorte les expériences indépendantes de l'effet de conductibilité, il faut donc s'y prendre d'une autre manière.

En réfléchissant sur le mode d'échauffement de la seconde surface de la lame interposée et sur le rayonnement qui en résulte, on voit que ce dernier a des propriétés toutes différentes de celles qui appartiennent au calorique de la transmission libre. Pour s'en convaincre, il suffit de remarquer que son action change avec la distance de l'écran à la source, ce qui n'arrive pas le moins du monde pour les rayons librement transmis. En effet, le calorique qui passe par voie immédiate se comporte comme la lumière.

Si l'on interpose entre l'œil et la flamme d'une bougie une lame de verre ou de toute autre substance plus ou moins diaphane, on obtient toujours la même diminu-

tion dans l'intensité de la lumière, quelle que soit la distance de la lame à la bougie.

Un effet semblable se produira donc sur la portion de calorique transmise librement ; et si, à une certaine distance de la source active, il se trouvait un appareil thermoscopique sensible à cette seule quantité de chaleur, l'appareil donnerait toujours la même indication, soit que l'on interposât l'écran aux environs de la source, soit qu'on le plaçât tout près du thermoscope.

Mais il est clair que les choses doivent se passer de toute autre manière à l'égard du calorique de conductibilité : car cette seconde portion de chaleur, parvenue à la surface postérieure de l'écran, la quitte sous forme de rayons divergeans qui s'affaiblissent en raison de l'éloignement. En d'autres termes ; la surface postérieure étant échauffée devient une nouvelle source calorifique, dont l'intensité du rayonnement doit évidemment diminuer à mesure que la distance augmente.

On possède donc un moyen bien simple d'annuler pour ainsi dire l'influence de la conductibilité, en conservant intacte l'action du rayonnement libre. Ce moyen que tout le monde a deviné, consiste à éloigner suffisamment l'écran du thermoscope, afin que les rayons provenant de son échauffement propre, soient devenus tellement faibles qu'on puisse les négliger.

Il y a cependant des précautions à prendre, car à mesure que l'on augmente la distance de l'écran au thermoscope, on diminue la distance de la source à l'écran : celui-ci s'échauffe davantage, et rayonne avec plus de force sur l'instrument. On démontre facilement par le calcul, que l'on gagne toujours, c'est-à-dire que l'on

affaiblit de plus en plus l'influence du calorique de conductibilité, en éloignant l'écran du thermoscope, jusqu'à ce que l'on ait atteint le milieu de la distance entre le thermoscope et la source (1). Plaçons donc l'écran dans cette position, qui est la plus favorable de toutes; et nous verrons qu'alors son échauffement n'a aucune influence appréciable sur les résultats obtenus au moyen du thermo-multiplicateur (2), et d'une source dont le rayonnement soit fort affaibli par la distance.

Voici comme on dispose l'appareil : Une pile thermo-électrique d'une trentaine de couples, est fermée d'un côté et enveloppée de l'autre par un petit tube noirci dans l'intérieur afin d'éviter les réflexions. A une certaine distance, on place un grand diaphragme métallique

---

(1) Soit a la distance de la source au thermoscope, x la distance du thermoscope à l'écran, i l'intensité calorifique de la source, on aura $\frac{i}{(a-x)^2}$ pour l'expression du rayonnement qui frappe la surface antérieure de l'écran. Cette quantité deviendra $\frac{ci}{(a-x)^2}$ à la surface postérieure, c étant une constante dépendante de la conductibilité de la matière dont l'écran est formé. Enfin le rayonnement de la surface postérieure sur le thermoscope sera exprimé par $\frac{ci}{x^2(a-x)^2}$: il faut en déterminer le minimum y. Or, on obtient en différentiant $\frac{dy}{dx}=$ $\frac{2ci(2x-a)}{x^3(a-x)^3}$; l'équation qui donne la quantité cherchée sera donc $2x-a=0$, d'où $x=\frac{a}{2}$.

(2) Voir pour la description de cet instrument le cahier de ces *Annales*, octobre 1831.

percé dans sa partie centrale d'une ouverture égale à la section de la pile; et au-delà, sur la même ligne, une lampe allumée que l'on rapproche plus ou moins jusqu'à ce que l'aiguille indicatrice du galvanomètre marque 30° de déviation.

On intercepte ensuite le rayonnement par un écran en métal poli, que l'on place entre le diaphragme et la lampe; l'aiguille revient au zéro de sa division. Alors on établit du côté opposé du diaphragme un support sur lequel on fixe une plaque de verre, et on pousse doucement le tout à une distance à peu près égale entre la pile et la source calorifique.

Cela posé, on ôte l'écran opaque, les rayons traversent le verre, tombent sur la pile et font mouvoir aussitôt l'aiguille du galvanomètre : en 5 ou 6'' elle est chassée à près de 21°,5 mais elle se rapproche ensuite du zéro, oscille dans un arc de moins en moins étendu, et s'arrête enfin définitivement à 21°. Cette dernière déviation marque bien l'*effet total*, car on a beau prolonger l'expérience pendant 15 ou 20', on n'observe plus aucun mouvement perceptible.

Le temps que l'aiguille emploie pour parvenir à sa position d'équilibre stable est d'une minute et demie (1).

(1) Quoique la vitesse de propagation du calorique rayonnant soit inconnue, on est bien sûr toutefois, par les expériences de Saussure et Pictet, que cet agent parcourt des espaces de 50 à 60 pieds dans un instant inappréciable. D'après cela on pourrait demander pourquoi notre appareil n'indique pas instantanément la présence et l'intensité des rayons lancés par la source. Je réponds d'abord que l'index du galvanomètre dévie à l'instant même où les communications calorifiques sont établies, et

Lorsqu'on répète l'expérience sur d'autres lames de verre, ou d'une substance diaphane quelconque ayant des épaisseurs très différentes, depuis un centième de ligne jusqu'à cinq à six pouces, le galvanomètre donne

---

nous venons de voir qu'il parcourt en 5 ou 6" la presque totalité de l'arc de déviation ; s'il exige quelques secondes de plus pour marquer l'action entière d'une manière stable, c'est que, malgré l'excellente conductibilité du bismuth et de l'antimoine et le grand pouvoir absorbant et émissif de leurs surfaces noircies, il faut toujours un certain intervalle avant qu'il s'établisse l'égalité d'échange pour les rayons qui entrent dans la pile et ceux qui en sortent ou qui restent enfermés dans l'intérieur.

Mais le temps nécessaire à l'équilibre définitif est bien plus grand pour les thermoscopes ordinaires. En effet, que l'on soumette à l'action d'un rayonnement calorifique un thermoscope de Rumford des plus délicats, à boule noircie, couvert d'une enveloppe métallique percée du côté de la source, on trouvera que le temps nécessaire pour marquer l'effet total est quatre à cinq fois plus long que pour le thermo-multiplicateur. Ce retard résulte des difficultés qu'éprouve *la chaleur de conductibilité* dans son passage à travers le verre et dans sa distribution uniforme sur tous les points de la masse d'air intérieur, distribution qui doit nécessairement s'opérer à cause de la fluidité du corps thermoscopique.

L'interposition du verre produit encore un autre inconvénient qui ne peut avoir lieu dans le thermo-multiplicateur, c'est-à-dire un intervalle sensible entre le moment où l'action commence et celui où elle se manifeste sur l'instrument, car il faut toujours un certain temps pour que la chaleur passe de l'une à l'autre surface.

Je ne parle pas ici du calorique qui pourrait parvenir directement à l'air par la transmission libre à travers les parois diaphanes de l'enveloppe, car lorsqu'il s'agit d'évaluer les inten-

des déviations plus ou moins grandes que 21° ; mais le temps nécessaire pour atteindre dans chaque cas la position d'équilibre est toujours le même. Enfin, si on note le temps qu'il faut à l'aiguille pour arriver à 30°, lorsque les rayons tombent directement sur la pile, on le trouve encore d'une minute et demie.

La constance d'un tel intervalle dans des circonstances

---

sités des rayons calorifiques au moyen des thermoscopes, il faut de toute nécessité noircir le verre et le rendre même très opaque en y superposant plusieurs couches de matière colorante; sans cela une partie des rayons traverserait librement la masse d'air contenue dans la boule sans y produire la moindre dilatation.

Dans les thermoscopes ordinaires, on mesure donc *toujours* le rayonnement à travers une lame de verre opaque; cette lame, telle mince qu'elle soit, doit présenter une grande résistance à la propagation de la chaleur par sa mauvaise conductibilité, et produire en conséquence l'insensibilité de l'appareil pendant les premiers instans de l'action, comme nous venons de le dire. Remarquons, en outre, que plus on cherche à augmenter la *sensibilité* du thermoscope en donnant de plus grandes dimensions aux boules, plus on diminue la *promptitude* de ces indications, car l'accroissement de volume est proportionnellement plus fort que l'augmentation de la partie de surface tournée vers la source, et la masse de l'air intérieur augmente plus en proportion que les points du verre qui peuvent lui communiquer la chaleur acquise : de là une plus grande difficulté pour atteindre l'instant d'égale température dans tous les points de la masse fluide, c'est-à-dire un intervalle plus grand pour marquer l'effet total.

Enfin, les thermoscopes ne peuvent plus s'employer lorsqu'il s'agit de mesurer des rayons calorifiques extrêmement faibles, distribués selon des lignes données ou formant des faisceaux de

si variées, montre avec la dernière évidence, que les déviations du galvanomètre sont dues exclusivement à de la chaleur qui arrive sur la pile, par le seul mode de transmission instantanée; d'où la conséquence que, dans la disposition que nous avons adoptée, l'échauffement propre du corps diaphane n'exerce aucune action appréciable sur l'instrument.

Mais on peut avoir une preuve directe de cette proposition, en opérant sur des écrans opaques.

Je prends une lame de verre d'un millimètre d'épaisseur, je la noircis d'un côté, et la substitue à la plaque de verre diaphane, en tournant la face noircie vers la lampe : l'aiguille reste stationnaire quoique les rayons calorifiques tombent sans cesse sur la face antérieure. Il y a encore immobilité dans l'aiguille, si j'emploie pour écran une lame de cuivre couverte de couleur noire sur les deux surfaces, ou bien une plaque mince de bois, ou enfin une simple feuille de papier.

Ainsi, quand même on supposerait l'écran diaphane, doué d'un grand pouvoir absorbant et émissif, très-mince, et excellent conducteur du calorique, l'élévation de température qu'il pourrait acquérir pendant l'expé-

---

très petite étendue En effet, pour atteindre le but, il faudrait conserver toute la sensibilité de l'instrument en réduisant de beaucoup les dimensions des boules, ce qui est impossible.

Si l'on veut bien prendre la peine de réfléchir mûrement à ces diverses considérations, il me semble que dans l'étude des rayonnemens calorifiques, on ne peut hésiter un seul instant à donner la préférence au thermo-multiplicateur sur tous les anciens appareils thermoscopiques

rience, ne fournirait pas de rayons assez énergiques pour faire mouvoir l'index du galvanomètre.

Au premier abord, on est surpris de voir des rayons calorifiques capables de donner une déviation de 30°, ne produire plus aucun effet lorsqu'ils sont absorbés par l'écran, qui doit nécessairement lancer vers l'appareil la chaleur acquise : mais l'étonnement cesse quand on réfléchit que cette chaleur est lancée également dans toutes les directions par chaque point de l'écran échauffé, et que par conséquent une très petite fraction du rayonnement total arrive sur le corps thermoscopique.

Nous verrons plus tard que la face antérieure de la pile, n'a pas six centimètres carrés de surface, et que sa distance à l'écran est de 14 à 15 centimètres. Avec ces données, en supposant même que les 30° de chaleur soient complètement absorbés par l'écran et transmis ensuite dans l'espace, on trouve que la quantité de rayons qui parviennent au corps thermoscopique, ne s'élève pas à la six centième partie de la quantité totale : mais le galvanomètre dont je me sers, ne peut marquer tout au plus que la cent cinquantième partie de la force qui pousse l'aiguille à 30°. Ainsi, quand même l'instrument serait capable de dévoiler la présence d'une chaleur quatre fois plus faible, il n'y aurait aucune action sensible.

Les expériences que je viens de décrire, me paraissent ne pouvoir laisser le moindre doute sur la vérité de la proposition que j'ai annoncée tout à l'heure, savoir que dans ma manière d'opérer la déviation du galvanomètre, provient entièrement de la chaleur qui traverse l'écran d'une manière immédiate. Cependant il faut bien que

ces preuves, si concluantes à mon avis, n'aient point produit d'abord le même effet sur la conviction de certains esprits; car j'ai trouvé des personnes qui m'ont dit — Nous accordons que la déviation de 21° obtenue à travers l'écran, ne provient pas du calorique propagé par conductibilité de la surface antérieure à la surface postérieure, mais on peut soutenir qu'elle dérive d'une chaleur portée instantanément, comme la lumière, sur tous les points de la masse du verre. Avant d'admettre un tel mode de transmission, il me semble que l'on devrait en démontrer l'existence par quelque expérience décisive : mais supposons-le vrai; alors de deux choses l'une : ou les molécules du verre acquièrent sous l'action de la source, des modifications qui les rendent capables de devenir elles-mêmes autant de centres calorifiques, pour rentrer de nouveau dans leur état naturel quand on supprime le rayonnement : ou cette chaleur, que vous supposez portée dans les points matériels de l'écran, n'est que du calorique ordinaire qui obéit aux lois connues de l'équilibre. Dans le premier cas, c'est vouloir expliquer la cause même de la transmission, et l'hypothèse, vraie ou fausse, n'infirme en aucune manière le fait que nous voulons établir. Dans le second cas, il faudra que cette chaleur arrivée dans l'intérieur du corps, emploie un certain temps pour en sortir : il faudra en outre que ce temps de refroidissement varie avec l'épaisseur de l'écran, avec sa conductibilité, et son pouvoir émissif. Mais interceptons la communication calorifique dans notre appareil, ôtons l'écran diaphane de son support, et exposons-le pendant quelques instans au rayonnement libre de la lampe, au-delà du diaphragme.

Si la supposition est vraie, les molécules internes du verre vont acquérir instantanément de la chaleur. Pour voir si cette chaleur existe réellement, remettons l'écran sur le rapport en face de la pile, en laissant toujours interceptée la communication calorifique avec la lampe. La surface postérieure de la plaque de verre, se mettra aussitôt à rayonner vers la pile, le calorique qui, d'après l'hypothèse, lui parviendra successivement des parties internes, et l'index du galvanomètre devra sortir de sa position naturelle d'équilibre. Or, en faisant cette expérience sur des écrans d'une nature et d'une épaisseur quelconque, on n'obtient jamais le moindre indice de mouvement dans l'aiguille aimantée : donc il reste complètement démontré que les déviations galvanométriques, dans les expériences où l'on emploie des écrans diaphanes, ne sont point dues le moins du monde à la chaleur propre de l'écran, intérieure ou extérieure; elles proviennent donc entièrement de la transmission libre. Ainsi, toutes les fois qu'en faisant tomber sur un écran la chaleur rayonnante de notre source, on verra paraître une déviation dans le galvanomètre, on sera bien sûr que *la totalité* de l'effet produit, dérivera des rayons de chaleur qui le traversent immédiatement à la manière des rayons lumineux.

Avant de quitter ces considérations préliminaires, je ferai encore deux remarques, savoir : 1° que les galvanomètres très sensibles, comme ceux qu'il faut employer dans le thermo-multiplicateur, ne donnent pas directement des quantités plus petites que les demi-degrés; 2° que les rapports entre les degrés du galvanomètre et les forces de déviation sont inconnus.

Or il est souvent utile d'avoir les fractions plus petites que le demi-degré, et dans certaines circonstances il faut absolument connaître les rapports de grandeur entre les actions calorifiques qui poussent les aiguilles aimantées à différentes distances de leur position primitive.

Pour avoir les fractions cherchées, il suffit de prendre les moyennes d'un certain nombre d'observations.

Quant à la relation qui existe entre les déviations et les forces, il est très difficile, et peut-être impossible, de la déterminer généralement dans l'état actuel de la science; mais les piles électriques semblables à celles dont il faut se servir pour la construction du thermo-multiplicateur, fournissent un moyen assez simple de résoudre la question dans chaque cas particulier.

En effet, rien n'est plus facile que de maintenir l'aiguille indicatrice du galvanomètre à un degré quelconque de déviation : il suffit pour cela de placer une lampe allumée à une distance convenable de l'une ou de l'autre face de la pile thermo-électrique.

Pour fixer les idées, supposons l'axe de la pile perpendiculaire au méridien magnétique, et les communications tellement établies, qu'à l'échauffement de la face gauche ou droite de la pile, corresponde une déviation dans le même sens sur le galvanomètre.

Cela posé, que l'on produise une déviation assez forte en approchant convenablement une lampe du même côté; soit cette déviation de 44°. Après avoir ramené l'aiguille à 0° par l'interposition d'un écran métallique, qu'on la fasse passer à 42° de déviation gauche par le moyen d'une seconde lampe placée de l'autre côté. Pour

reconduire l'aiguille au zéro de l'échelle, il suffira d'arrêter le rayonnement calorifique par un écran métallique comme dans le cas précédent.

Qu'arrivera-t-il maintenant lorsqu'on fera tomber à la fois la chaleur des deux lampes sur les faces opposées de la pile? Les effets calorifiques se détruiront en partie, et l'instrument n'en marquera plus que la différence. S'il fallait toujours le même effort pour faire parcourir successivement au système des aiguilles des arcs composés d'un même nombre de degrés, l'index s'arrêterait à 2° de déviation droite; mais on sait que dans le galvanomètre ces effets vont en croissant à mesure que l'on s'éloigne du 0°. Les deux degrés de différence qui existaient tantôt entre les déviations partielles de 44° et 42° provenaient d'une force plus grande que celle qui est nécessaire pour faire parcourir à l'aiguille indistincte les deux premiers degrés de l'échelle. La position de 2° sera donc surpassée, et d'autant plus que la première force sera plus grande que la seconde. L'arc parcouru, comparé à la différence des deux déviations, donnera donc immédiatement la mesure de la force correspondante. Si, par exemple, l'aiguille s'arrête à 8°, on en conclura que l'effort nécessaire pour faire passer l'aiguille de 42° à 44° est quatre fois plus grand que celui qu'il faut employer pour le faire passer de 0° à 2°. Cet effet serait cinq fois plus grand si l'aiguille s'arrêtait à 10°, et ainsi de suite.

Je ne dissimulerai pas que dans l'emploi de ce procédé on suppose tacitement la proportionnalité des degrés aux forces dans l'arc qui sert de mesure comparative; mais cette supposition est pleinement justifiée par l'expérience, car on trouve que dans les galvanomètres

dont le système astatique est d'une grande perfection, les aiguilles aimantées décrivent des arcs proportionnels aux actions qu'elles éprouvent de la part des courans électriques dans toute l'étendue de l'arc compris entre 0° et 20° environ. Pour s'en convaincre, il n'est pas nécessaire de passer successivement en revue tous les degrés qui concourent à la formation de cet arc, il suffit d'appliquer notre méthode aux angles de 20° et de 10° : on trouvera une quantité égale entre leur différence et l'effet résultant de l'action simultanée des forces motrices. En d'autres termes, que l'on produise une déviation droite de 20° et une direction gauche de 10°, qu'on laisse tomber ensuite simultanément sur les faces opposées de la pile les deux rayonnemens qui donnent lieu à ces indications galvanométriques, l'index marche sur la droite et s'arrête précisément à 10°. Donc la force nécessaire pour faire parcourir à l'aiguille l'arc compris entre 10° et 20°, est égale à la force qu'il faut employer pour lui faire decrire les dix premiers degrés de l'échelle; ainsi la proportion des degrés aux forces s'étend sensiblement jusqu'à 20° de chaque côté de 0°.

Ce fait semble contraire aux inductions que l'on aurait pu tirer en examinant la nature des actions galvanométriques, car dans la rotation successive du système astatique les pôles des aiguilles aimantées s'éloignent de la ligne mitoyenne des courans électriques. L'intensité des forces répulsives va donc en diminuant à mesure que l'angle de déviation augmente, d'où la conséquence que l'effort nécessaire pour éloigner les aiguilles d'un arc donné devrait changer dès les premiers degrés de l'échelle. Cela aurait lieu indubitablement si tous les

courans électriques se trouvaient compris dans un plan vertical passant par la ligne du 0°; mais les circonvolutions du fil métallique qui enveloppe le châssis placé au-dessous du cercle gradué sont distribuées sur une certaine étendue de chaque côté de ce plan. Dans le galvanomètre dont je me suis servi pour mes expériences, elles couvrent les deux arcs opposés de 76° dont les cordes sont perpendiculaires à la ligne du 0°. Ainsi tant que les oscillations se feront entre certaines limites d'amplitude, il y aura toujours des courans électriques situés de chaque côté des aiguilles. Or, lorsque l'intensité des courans est excessivement faible, leur effet sensible sur les aiguilles doit cesser à une très petite distance. Supposons que cette distance soit de 18° de la division du galvanomètre pour les actions électriques d'où proviennent les déviations droites ou gauches des vingt premiers degrés de l'échelle; actions qui, dans un galvanomètre très délicat, doivent être d'une faiblesse extrême. Si le système des aiguilles ne sort pas des deux arcs initiaux de 20° pendant ces oscillations, il est clair qu'il éprouvera toujours la même action quelle que soit la position où il se trouve placé. Car il y aura toujours près de son plan une série de courans qui s'étendra à 18° de chaque côté, lorsque même que le système occupera les limites extrêmes. Quant à l'influence des courans plus éloignés, elle sera nulle d'après notre hypothèse.

La force motrice sera donc une valeur constante, et il ne restera plus à considérer que les modifications introduites dans la partie active de cette force par la différente inclinaison des aiguilles sur la direction des courans, modifications tout-à-fait analogues à celles qui ont

lieu dans la portion de pesanteur agissante sur le pendule à différentes amplitudes d'oscillations.

Or, la force nécessaire pour faire monter le pendule de l'une à l'autre inclinaison est proportionnelle à la différence des cosinus que les deux directions forment avec la verticale, d'où il résulte qu'elle demeure sensiblement constante dans les arcs qui ne s'éloignent pas beaucoup de la ligne de repos. Le même effet devra donc se reproduire sur le galvanomètre, c'est-à-dire que dans cet appareil l'effort nécessaire pour augmenter d'un degré la déviation de l'index sera constant dans les angles rapprochés du zéro, comme cela résulte de l'expérience.

D'après ce que nous venons de dire, on comprendra aisément que la relation entre les degrés du galvanomètre et les forces qui donnent lieu aux déviations des aiguilles doit dépendre de la sensibilité du système astatique et de la distribution du fil métallique sur les châssis (1). Elle variera donc avec la construction de l'instrument, mais on pourra toujours la déterminer par la méthode que nous avons indiquée.

(1) Pour le bien concevoir, il suffit de supposer un galvanomètre où les circonvolutions du fil seraient entassées en plus grand nombre vers les bords que vers la partie centrale : il est clair que sous l'action d'un tel système les forces qui produisent les déviations, au lieu d'être croissantes ou simplement proportionnelles aux angles dans les arcs voisins du zéro, diminueraient à mesure que l'on l'approcherait des bords du châssis, pour augmenter ensuite lorsque l'aiguille indicatrice aurait dépassé ces positions.

Quant à l'influence de la sensibilité du système astatique, on s'en formera une idée précise en imaginant un galvanomètre

L'expérience m'ayant démontré que dans mon galvanomètre, la proportion des degrés aux forces avait lieu sensiblement jusqu'à 20° de l'échelle, j'ai étudié la marche de l'index de 4° en 4°, en partant de cette position et en poussant les observations jusqu'à 44°. Je me suis arrêté là, car mes expériences de transmission calorifique ne devaient avoir lieu que sur des rayonnemens fort affaiblis par la distance.

---

dont les deux aiguilles possèdent un degré de magnétisme très différent. Alors le globe terrestre exercera sur leur ensemble une action très forte, et pour produire les moindres déviations, il faudra employer des courans électriques beaucoup plus intenses que ceux qui donnent lieu aux petites déviations d'un système astatique plus parfait : dans les positions rapprochées du zéro, l'action électro-magnétique provenant des courans les plus éloignés, c'est-à-dire l'action des courans situés sur les bords du châssis aura pour le moins une énergie suffisante pour vaincre la résistance qui se compose de la torsion du fil de suspension et de l'inertie du système astatique ; elle contribuera donc toujours au mouvement de la masse oscillante. Cela posé, il est évident que le moindre déplacement des aiguilles causera une perte dans la force motrice ; car si le système s'approche d'un certain arc o un certain bord, il s'éloigne en même temps d'une quantité double du bord opposé. Or nous venons de voir ci-dessus que dans les galvanomètres délicats, la force motrice se conserve constante pour les petits angles, et nous en avons donné la raison en partant du principe incontestable que dans les petites déviations de l'instrument, l'action des courans électriques situés vers les extrémités du châssis doit être négligée, non pas précisément pour avoir une valeur nulle, mais parce que à cause de l'éloignement elle devient excessivement faible et incapable de surmonter les obstacles que lui opposent la torsion du fil de soie et l'inertie des aiguilles.

Les arcs parcourus, en vertu des forces qui agissent sur le système des aiguilles aux différens points de sa course ont entre eux les relations suivantes :

L'arc compris entre 20° et 24° équivaut à 5°,10 en partant de 0°.
24° et 28° 6°,44
28° et 32° 8°,00
32° et 36° 9°,92
36° et 40° 12°,44
40° et 44° 14°,04

Chaque numéro de la troisième colonne représente la moyenne de huit observations qui s'accordaient toutes entre elles avec le degré de précision que l'on devait attendre d'après la nature de l'instrument. Souvent égales, quelquefois différentes de 0°,5, leurs plus grands écarts n'ont jamais surpassé 1°. C'est la meilleure preuve que l'on puisse donner de l'exactitude de la méthode.

La construction graphique de ces résultats, qui donne une courbe très régulière dont la convexité est tournée vers l'axe des x, m'a fourni les valeurs des forces intermédiaires de degré en degré, depuis 20° jusqu'à 45°. En les réunissant aux observations fondamentales, j'en ai formé la table suivante des intensités.

DEGRÉS.	FORCES.	DEGRÉS.	FORCES.	DEGRÉS.	FORCES.
20°	20,0	29°	33,4	38°	55,4
21	21,1	30	35,3	39	58,5
22	22,5	31	37,4	40	61,5
23	23,7	32	39,8	41	65,3
24	25,1	33	41,8	42	68,3
25	26,8	34	44,1	43	72,4
26	28,2	35	46,7	44	78,0
27	29,9	36	49,3	45	83,2
28	31,2	37	52,4		

L'usage d'un tel tableau n'a pas besoin d'explications. Toutes les forces sont rapportées à celle qui fait parcourir à l'index le premier degré de l'échelle. On n'y trouve pas les valeurs correspondantes aux vingt premiers degrés; car, dans toute l'étendue de cet arc, le nombre qui représente la force est égal au nombre de degrés contenus dans l'arc parcouru. Ainsi, lorsqu'on cherchera, par exemple, les forces qui donnent lieu aux déviations 35° et 16°, la première sera fournie par la table, et aura pour valeur 46,7; la seconde, étant inférieure à 20°, aura la même valeur que l'arc, c'est-à-dire 16. Lorsqu'il s'agit d'avoir les forces correspondantes aux fractions de degré, il n'y a qu'à calculer la partie proportionnelle du degré en question; car, dans l'intervalle d'un degré à l'autre, la courbe se confond sensiblement avec la tangente. Si on veut connaître, par exemple, la force correspondante à la déviation 31°,7, il suffit de prendre d'abord la différence entre 37,4 et 39,6, intensités des forces appartenant à 31° et 32°; cette différence étant 2,2; on trouvera la valeur x, de la force correspondante aux sept dixièmes du degré compris entre 31° et 32° par la proportion :

$$1^{\circ} : 0^{\circ},7 :: 2,2 : x = 1,5.$$

En ajoutant ensuite cette quantité au nombre qui représente la force de 31°, qui est 37,4, on aura 38,9 pour la valeur cherchée.

Du poli, de l'épaisseur et de la nature des écrans.

Les notions que nous avons présentées sur la manière

d'obtenir, au moyen du thermo-multiplicateur, la mesure du calorique immédiatement transmis par les corps diaphanes, et les précautions à prendre pendant les expériences, ne nous laissent presque plus rien à dire sur ce sujet. Cependant nous nous permettrons encore quelques détails de construction avant de passer à l'exposition des résultats.

La pile employée dans ces recherches a la figure d'un faisceau carré : ses deux bouts forment des surfaces planes de 4,24 centimètres chacune : elle se compose de 27 couples et demi, ou 55 élémens de bismuth et d'antimoine, ayant 32 millimètres de longueur sur 2,5 de largeur et 1 d'épaisseur. Ce n'est pas sans peine que nous sommes parvenus à construire ces minces barreaux et à les souder ensemble. La facile oxidation de l'antimoine liquide, sa différence de fusibilité avec le bismuth, et l'extrême fragilité des deux métaux, formaient autant d'obstacles que l'on n'a pu surmonter qu'après plusieurs essais infructueux. Mais de fort petites dimensions dans la pile étaient indispensables pour étudier les lois de la transmission immédiate par les liquides rares et les corps cristallisés : il fallait atteindre le but ou renoncer aux expériences. Cette réflexion a soutenu nos efforts ; en redoublant de patience nous avons vaincu l'obstacle.

Le faisceau électrique est passé dans un anneau formé avec une plaque carrée en cuivre mince intérieurement garni de carton, et portant une vis qui sert à le fixer sur le support, de manière que l'axe prend naturellement la position horizontale qu'il doit conserver pendant la plus grande partie des expériences. A chaque



côté de l'anneau on adapte un tube de 6 centimètres de longueur, noirci dans sa partie interne, et à une certaine distance des ouvertures, les supports destinés à recevoir les écrans. A la rigueur, un seul tube et un seul support suffiraient, et on pourrait fermer un des côtés de la pile par un couvercle métallique ; mais lorsqu'il s'agit d'opérer sur des corps de nature et d'épaisseur différentes, il arrive souvent que leurs températures ne sont égales ni entre elles, ni au degré de chaleur que possède la pile, alors si on place un seul écran en présence de l'appareil il y a une action calorifique inégale aux deux faces, l'aiguille indiestrice du galvanomètre s'éloigne du zéro, et il faut attendre un temps plus ou moins long pour que l'équilibre de température soit établi, et l'aiguille ramenée à sa position primitive.

Or, cet inconvénient n'a plus lieu lorsque la pile est munie de deux tubes et de deux supports, car en posant au-devant de chaque face une lame de même nature et épaisseur, il est clair que, si on a eu soin de laisser préalablement ces deux lames dans les mêmes circonstances, elles seront douées de la même température, et que par conséquent elles enverront sur les faces correspondantes de la pile la même quantité de chaleur ; l'index du galvanomètre restera donc immobile, quelle que soit la différence de température entre les lames et le corps thermoscopique ; ce qui permettra de procéder immédiatement aux expériences. Ainsi, lorsqu'on veut épargner du temps, il convient toujours d'avoir un couple de chaque espèce d'écran, et de monter également la pile des deux côtés, comme nous venons de le dire.

Pour connaître l'influence exercée sur la transmission libre par les diverses circonstances relatives à la surface, au volume et à la composition des écrans, il faut nécessairement se procurer une source constante de chaleur. A cet effet, rien de mieux qu'une bonne lampe à double courant d'air et à niveau constant; lorsque ces appareils sont bien préparés et remplis d'huile privée de mucilage par l'acide sulfurique, on en obtient une flamme qui se conserve à une température invariable pendant plus de deux heures : j'ai pu m'en assurer avec une grande exactitude par les indications du thermo-multiplicateur. Il est évident que pour arriver à cet état normal il faut attendre quelques instans pour donner au bec, à l'huile et à la cheminée de verre le temps de parvenir à leur *maximum* de température. Ce temps qui varie un peu avec la construction des lampes est de 10 à 15 minutes.

L'emploi d'un Argant comme source calorifique peut donner lieu à quelques objections. On dira peut-être que dans cette sorte de lampe l'action ne s'exerce qu'à travers la cheminée de verre; que cette même cheminée s'échauffe, et mêle ses rayons de chaleur obscure au calorique lumineux lancé par la flamme, et qu'enfin une telle source de chaleur n'est ni uniforme ni séparée de l'agent qui l'accompagne ordinairement dans les températures élevées.

Mais je ferai observer que la seule chose qui nous intéresse maintenant, c'est de savoir si l'état de surface, l'épaisseur, la couleur et la structure interne d'un corps, ainsi que sa composition chimique, exercent une action

quelconque sur la quantité de chaleur qu'il peut transmettre immédiatement; et, sous ce point de vue, l'origine et les qualités des rayons caloriques nous deviennent indifférentes; il nous suffit que ces rayons soient invariables, identiques dans toutes les circonstances où ils sont employés. Or, cela arrive réellement pour les rayons provenant de la flamme bien entretenue d'un quinquet placé à une distance fixe.

Quand nous aurons trouvé les rapports des quantités de chaleur transmises par les écrans de différentes espèces sous l'influence d'une source constante, nous examinerons, conformément à ce qui a été dit dans l'introduction, les changemens que ces rapports subissent par la variation des sources.

Toutes nos expériences de comparaison ont été faites sous le même rayonnement calorifique. Avant de commencer chaque série, on laissait tomber les rayons directement sur la pile, et on modifiait la distance de la lampe jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre se fixât constamment à 30° de l'échelle.

Nous avons déjà remarqué dans les considérations préliminaires que toutes les parties externes du thermoscope se trouvent à l'abri des rayons caloriques, moyennant un grand écran de métal poli, percé dans sa partie centrale correspondante à l'ouverture de la pile tournée vers la lampe.

Pour établir ou intercepter d'une manière sûre et commode la communication entre cette ouverture et la source de chaleur, on se sert d'un écran mobile en cuivre à deux ou trois lames parallèles fixées sur un même pied.

Le côté de la pile opposé à la lampe peut aussi se fermer et s'ouvrir par un écran tout-à-fait pareil, et voici dans quel but :

Lorsque, après avoir observé l'effet d'un rayonnement quelconque, on intercepte l'action de la source, il faut attendre que la face de la pile, sur laquelle ont dardé les rayons de chaleur, soit revenue à son état naturel avant de passer à une seconde observation. Or, il paraît que la chaleur lancée par la flamme pénètre plus facilement dans l'appareil qu'elle n'en sort par sa tendance naturelle à l'équilibre : du moins l'expérience démontre que le temps dans lequel se fait la déviation est au temps nécessaire pour que l'aiguille reprenne exactement sa position primitive, comme 1 à 5 environ; car ce dernier est de 7 à 8', et nous avons vu que la déviation totale se produit en une minute et demie. Quelle que soit la cause de cette différence dans les deux époques d'échauffement et de refroidissement, toujours est-il que 8' d'attente sont nécessaires pour passer de l'une à l'autre expérience, quand on se borne à placer le premier écran mobile devant la source rayonnante. Mais que l'on ouvre le côté opposé de la pile et que l'on approche une bougie allumée de la face correspondante, il est clair qu'en tenant cette bougie pendant quelques instans à une distance convenable, et en interceptant ensuite la communication, on forcera l'aiguille à revenir au zéro dans un intervalle de temps moindre que 8'. Ces opérations ne pourraient avoir lieu si le côté de la pile opposé à la lampe était hermétiquement fermé. Le second écran mobile sert donc à abréger la durée des expériences : il est particulièrement utile

lorsque l'action calorifique a été très forte ou très prolongée, comme cela arrive quelquefois dans les premiers essais d'ajustement; alors des portions de chaleur pénètrent la pile à une grande profondeur, et ne peuvent revenir sur leurs pas que dans un intervalle de temps assez considérable. Avant que j'eusse pensé à ce simple moyen de correction, la difficulté de rétablir l'équilibre entre les deux extrémités de la pile, ainsi que celle dont j'ai parlé tout-à-l'heure relativement à la diverse température des écrans et de l'appareil, m'obligeaient souvent à passer 15 à 20 minutes dans l'inaction entre deux observations consécutives.

Quand un sujet quelconque de recherches exige de nombreuses expériences, il faudrait tâcher dès les premiers pas de ne rien négliger de tout ce qui peut conduire à les rendre plus expéditives, car les moindres retards dérivés d'une imperfection de méthode, en s'accumulant peu à peu, finissent par former des journées employées en pure perte. Cependant l'attention, absorbée par le sujet principal, ne se dirige point d'abord sur les petits défauts. On s'en aperçoit enfin, et l'on y porte remède lorsqu'il n'est presque plus temps d'en profiter; mais le résultat de l'expérience n'est pas perdu, puisqu'il peut devenir plus ou moins utile dans des circonstances analogues. Cette considération me servira d'excuse pour la longueur des détails où je suis entré.

Le premier problème qui se présente dans la série des questions relatives au passage de la chaleur rayonnante à travers les corps solides, c'est de déterminer l'influence que le degré de poli exerce sur la quantité de rayons transmis. Pour le résoudre, il n'y a qu'à

appliquer notre méthode thermométrique à plusieurs écrans parfaitement semblables en tout, l'état de la surface excepté.

Sur un verre de glace très pur, de 9 millimètres d'épaisseur, j'ai coupé huit petits morceaux assez grands pour couvrir l'ouverture centrale de l'écran lorsqu'ils étaient placés sur le support, et après avoir ôté l'étamage, je les ai usés avec du sable, de l'émeri ou d'autres substances, de manière à former par leur succession une série complète de surfaces planes plus ou moins finement travaillées, depuis le premier dégrossage jusqu'au poli le plus parfait. Ces différentes pièces, réduites à une épaisseur commune de $8^{mm},371$ (1) et soumise à un rayonnement de 30° du thermo-multiplicateur, m'ont donné les résultats suivans :

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉVIATIONS DU GALVANOMÈTRE.
1 translucides	5°,38
2 *id.*	8°,50
3 *id.*	6°,66
4 louche.	12°,58
5 *id.*	14°,73
6 legerement louche	17°,48
7 transparent.	18°,78
8 *id.*	18°,15

(1) Toutes les mesures des petites épaisseurs contenues dans ce mémoire ont été prises avec un *calibre à pivots*, espèce de double compas à ressort et à bras inégaux employé dans les fabriques d'horlogerie. Cet instrument mesure directement et avec beaucoup d'exactitude jusqu'à la quarante huitième partie d'une ligne.

Ces transmissions ne présentent rien d'extraordinaire ; la quantité de chaleur qui traverse immédiatement le milieu est d'autant plus grande que la surface est plus finement travaillée, conformément à ce qui arrive pour la lumière. On peut remarquer seulement que, dans les hauts degrés de poli, une légère différence produit un effet très faible ; cela résulte évidemment des observations faites sur les numéros 7 et 8.

Des procédés analogues vont nous servir pour déterminer l'influence de l'épaisseur qui constitue un des élémens les plus essentiels à connaître dans la théorie de la transmission.

Quatre pièces tirées d'un beau verre de glace furent réduites très exactement aux rapports d'épaisseur 1, 2, 3, 4 : on eut bien soin de donner un parallélisme parfait, et le plus haut degré possible de poli à leurs principales surfaces. Voici les déviations qu'elles imprimèrent successivement à l'index du galvanomètre, sous l'action du même rayonnement de 30° :

ÉPAISSEURS des ÉCRANS EN MILLIMÈTRES.	DÉVIATIONS du GALVANOMÈTRE.	FORCES CORRESPONDANTES.
2,068	21°,625	21,850
4,136	20°,312	20,343
6,200	19°,687	19,687
8,272	18°,375	18,375

Chaque nombre de la seconde colonne est déduit de quinze observations. Les quantités désignées sous le nom de forces, représentant dans ce cas particulier les tem-

pératures ou les quantités de rayons transmis, ont été calculées d'après les principes que nous avons exposés à la fin des considérations générales. La force ou température correspondante à 30°, donnée par la table des intensités, est 35,3 ; donc en divisant chaque nombre de la troisième colonne par 35,3, on obtiendra les rapports des rayonnemens transmis au rayonnement incident : la différence entre chacun de ces quotients et l'unité donnera la perte correspondante, c'est-à-dire la partie proportionnelle des rayons arrêtés. En effectuant ces opérations, et en représentant par 1000 le rayonnement total, on obtient :

Tableau A.

NUMÉROS D'ORDRE DES ÉCRANS.	RAYONS TRANSMIS.	RAYONS ARRÊTÉS
1	619	381
2	576	424
3	558	442
4	549	451

Supposons l'écran de plus grande épaisseur divisé par la pensée en quatre couches égales ; les quantités de chaleur incidentes sur chacune d'elles seront :

1000 619 576 558

et les quantités perdues dans les traversées successives des quatre intervalles :

381 424-381 442-424 451-442

c'est-à-dire :

381 43 18 9

On aura donc pour les pertes respectives rapportées aux quantités incidentes :

$$\frac{381}{1000} \qquad \frac{43}{619} \qquad \frac{18}{573} \qquad \frac{9}{568}$$

ou :

0,381 0,071 0,031 0,016

Ainsi les pertes vont en diminuant avec une grande rapidité à mesure que l'épaisseur augmente d'une quantité constante.

Nous avons vu que l'action d'un rayonnement sur le thermo-multiplicateur, commence à l'instant où les communications sont établies, produit la plus grande partie de son effet dans les 5 ou 6 premières secondes, et cesse totalement après une minute et demie. Ces faits ayant lieu également pour les rayons directs et pour ceux qui arrivent sur la pile après avoir traversé des écrans d'une épaisseur quelconque, constituent la meilleure preuve de la transmission rayonnante du calorique dans l'intérieur des corps diaphanes. Cependant, si on désirait une nouvelle confirmation de cette vérité, on la trouverait dans la diminution successive des pertes que les rayons subissent en traversant les différentes couches d'un milieu transparent. Si la chaleur, qui fait l'objet de nos recherches actuelles, provenait d'une espèce de conductibilité, les pertes de l'une à l'autre tranche iraient en augmentant ou demeureraient invariables, dès que les rayons pénétreraient dans le milieu ; jamais elles ne pourraient suivre la loi opposée du décroissement.

La progression décroissante des pertes est d'ailleurs toute particulière au rayonnement calorifique, qui en

cela, comme sur beaucoup d'autres points, s'écarte totalement des propriétés qui manifeste le rayonnement lumineux. En effet, tout nous porte à croire que les couches égales qui se succèdent dans un milieu diaphane, exercent la même action sur les rayons de lumière qui se présentent pour les traverser successivement, et que par conséquent elles absorbent ou réfléchissent une quantité de lumière toujours proportionnelle à l'intensité des rayons incidens; c'est-à-dire que la perte, subie par le rayonnement lumineux à chaque couche d'égale épaisseur, est constante. Dans le cas particulier que nous considérons, le décroissement invariable de la lumière à chacune des quatre tranches dans lesquelles nous supposons l'écran divisé, est nul, ou excessivement faible, à cause de la parfaite transparence du verre; et cependant les rayons caloriques souffrent dans leurs passages successifs une absorption égale en somme à la moitié environ de leur valeur totale, et les pertes à chaque couche, au lieu d'être constantes, comme dans la lumière, ont entre elles des différences énormes, puisqu'elles suivent la proportion des nombres 381, 71, 31 et 16.

La résistance des milieux diaphanes à la transmission immédiate des rayons de chaleur est donc d'une toute autre nature que la résistance opposée par ces mêmes milieux à la propagation de la lumière.

Quelle que soit la cause de cette singulière différence, il importait beaucoup de vérifier si elle a lieu à de grandes distances de la surface d'entrée, en répétant les expériences sur des couches de verre beaucoup plus épaisses que celles que nous venons d'employer.

A cet effet, je pris différens morceaux de glace de Saint-Gobain, que je fis refondre; l'opération ne réussit pas complètement. La matière s'affaissa en formant des couches trop minces ou se remplit légèrement de stries. Parmi les pièces épaisses, je choisis la plus pure; elle avait 6 pouces de longueur. Je la divisai en trois parties ayant 1, 2, 3 pouces d'épaisseur. Les défauts s'y trouvant distribués uniformément dans tous les points de la masse, pouvaient bien changer la quantité absolue des rayons calorifiques qui auraient traversé une masse parfaitement pure de même matière et de même épaisseur, mais il est clair qu'ils ne devaient avoir aucune influence sur la nature de la progression des pertes que ces rayons subissent en passant de l'une à l'autre couche.

Voici les résultats que l'on obtint en les soumettant au rayonnement ordinaire de 30°.

ÉPAISSEURS DES ÉCRANS EN MILLIMÈTRES.	DÉVIATIONS GALVANOMÉTRIQUES.
27	17°,185
54	13°,452
81	10°,702

En effectuant des calculs absolument semblables à ceux que nous avons rapportés tout à l'heure, on trouve que sur 1000 rayons chaque écran transmet ou arrête les quantités suivantes :

NUMÉROS D'ORDRE.	RAYONS TRANSMIS.	RAYONS ARRÊTÉS.
1	484	516
2	380	620
3	303	697

Au moyen de ces données, on obtient, pour les valeurs, des pertes calorifiques rapportées aux quantités de rayons qui se présentent successivement pour traverser les trois couches égales dans lesquelles on peut supposer le dernier écran divisé,

0,516 . 0,215 0,203

Ces pertes sont plus fortes que les précédentes, à cause de la mauvaise qualité de la matière et de la plus grande épaisseur des couches, mais elles suivent toujours une progression décroissante. Ainsi la diminution continue au-delà de 54 millimètres.

Pour comparer la valeur de cette diminution à celle qui avait lieu dans le dernier écran des expériences précédentes, il faut multiplier 0,012, différence entre 0,215 et 0,203, par 2,068, et diviser le produit par 27. On a de cette manière la diminution moyenne pour 2mm,068 d'épaisseur en passant de 54 à 81 millim., diminution que l'on trouvera de 0,001 à très peu près; elle était quinze fois plus forte dans les premières expériences, lorsque les rayons traversaient le même couche de 2mm,068 placée à une distance de 6 millim. La différence serait encore plus grande, si l'on avait

employé des couches de verre bien transparentes comme les plaques de verre de glace aminci.

Cependant il me restait quelque doute sur l'homogénéité du verre : je craignais que les stries ne fussent pas distribuées également sur tous les points de la masse. Mais n'ayant pu avoir des gros morceaux de cette substance tout-à-fait exempts de défauts, je pensai que des expériences analogues pouvaient tout aussi bien s'exécuter sur des liquides.

Dans l'emploi de ces corps au lieu de verre, on avait même l'avantage, en cas de réussite, de donner plus d'étendue à la loi de la transmission calorifique, en la rendant indépendante de la constitution physique du milieu.

Je me procurai donc plusieurs auges en cuivre de largeur égale et de longueurs différentes, terminées à chaque bout par un verre; et je les plaçai successivement entre l'écran percé et la pile, de manière que le verre antérieur se trouvât tout près de l'écran qui demeurait à une distance invariable. La section commune des auges étant beaucoup plus grande que l'ouverture centrale de l'écran, les réflexions sur les parois latérales ne pouvaient avoir lieu, et les seuls rayons qui entraient sous des incidences peu éloignées de la perpendiculaire parvenaient à la face antérieure de la pile. On approchait la lampe jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre donnât 30° de déviation à travers les deux verres de chaque auge; puis on interceptait le rayonnement, on remplissait l'auge d'huile de colza purifié, et après avoir attendu que l'index eût repris sa position naturelle, on rétablissait la communication calorifique.

Les déviations obtenues à travers les différentes épaisseurs du liquide sont rapportées dans le tableau qui suit :

ÉPAISSEURS DE LA COUCHE LIQUIDE.	DÉVIATIONS DU GALVANOMÈTRE.
6mm,767	15°,842
13 ,535	12 ,831
27 ,069	10 ,389
54 ,139	9 ,540
81 ,209	8 ,988
108 ,274	8 ,510

Représentant toujours par 1000 le rayonnement libre, on a pour les quantités de rayons interceptées ou transmises :

Tableau B.

ÉPAISSEURS de LA COUCHE LIQUIDE.	RAYONS TRANSMIS.	RAYONS ARRÊTÉS.
6mm,767	443	557
13 ,535	363	637
27 ,069	294	706
54 ,138	270	730
81 ,208	255	745
108 ,278	244	756

Si l'on suppose enfin la dernière couche de 108mm,274 divisée par la pensée en six tranches parallèles ayant les épaisseurs de 6mm,767, 6,767, 13,535, 27,069, 27,069 et 27,069, on pourra déterminer, au moyen des nombres contenus dans les deux dernières colonnes, la quan-

tité de chaleur incidente sur la première surface de chacune de ces tranches, et la quantité perdue dans le passage. Divisant la seconde par la première, on aura la perte. Il est inutile de donner les détails des opérations qui sont tout-à-fait semblables à celles que nous avons exécutées pour les écrans de verre. Voici les résultats définitifs :

ÉPAISSEURS DES SIX TRANCHES SUCCESSIVES dans lesquelles on suppose divisée la couche de 108mm,074	PERTES SUBIES DANS LES TRAVERSÉES RESPECTIVES, rapportées aux quantités de rayons qui parviennent à chaque tranche.
6mm,767	0,557
6 ,767	0,180
13 ,535	0,190
27 ,069	0,080
27 ,069	0,058
27 ,069	0,040

D'où l'on conclut que les pertes sont encore décroissantes à une distance de 100 millimètres environ.

Pour bien saisir d'un seul coup d'œil la loi de la propagation calorifique rayonnante dans les milieux diaphanes, il n'y a qu'à construire graphiquement les résultats contenus dans les deux premières colonnes des tableaux (A) et (B).

La simple inspection des courbes qui se déduisent d'une telle construction montre que les rayons subissent d'abord une grande perte en entrant dans les premières couches du milieu, mais à mesure qu'ils s'éloignent de la surface on voit la perte décroître ; elle devient pres-

qu'insensible à une certaine distance, et les rayons semblent continuer leur marche en conservant toute leur intensité ; de manière que dans le verre et l'huile de colza et probablement dans tous les milieux diaphanes, la portion de chaleur qui est parvenue à forcer le passage des premières couches, doit se transmettre à de très grandes profondeurs.

Delaroche avait trouvé que la chaleur qui a traversé une lame de verre est absorbée en moindre proportion, lorsqu'elle en traverse une seconde. L'identité de ce fait avec la loi de la résistance des milieux continus montre que la solution de continuité et l'interposition de l'air atmosphérique entre les deux écrans, ne change point la nature des modifications que les rayons subissent dans la première lame de verre. Il est donc extrêmement probable que la proposition de Delaroche se vérifie pour une série très nombreuse d'écrans minces, car nous venons de voir que dans le même milieu les pertes décroissent encore à une profondeur de 80 à 100 millimètres. Voici à ce propos le résultat des expériences que j'ai faites sur quatre lames tirées du même verre de glace qui avait servi aux premières recherches sur la propagation par les milieux continus. L'épaisseur commune de ces lames était de $2^{mm},068$.

Nombre des écrans.	Déviations du galvanomètre.
1	21°,62
2	18°,75
3	17°,10
4	15°,90



Il est inutile de dire que le rayonnement commun auquel on avait soumis les écrans était toujours de 30° correspondant à une force ou température de 35,3. Si on représente ce rayonnement par 1000, comme nous l'avons fait pour tous les cas qui précèdent, on a :

NOMBRE DES ÉCRANS.	RAYONS TRANSMIS.	RAYONS ARRÊTÉS.
1	619	381
2	531	469
3	484	516
4	450	540

D'où l'on tire :

0,381 0,134 0,087 0,058

pour les pertes que souffrent les rayons en traversant successivement les quatre lames de verre, bien entendu que ces valeurs ne sont point rapportées à la quantité initiale, mais au nombre des rayons qui parviennent sur chacun des écrans.

Ainsi la proposition de Delaroche a lieu pour le 3e et le 4e écran, car dans tous ces cas on observe un changement en moins, lorsqu'on passe d'une perte à la suivante.

On remarquera que les pertes étaient moins grandes pour les quatre couches égales de l'écran d'épaisseur quadruple ; et cela se conçoit facilement, puisqu'ici il y a solution de continuité où la chaleur se disperse davantage par réflexion. Mais on voit que, dans l'un et l'autre cas, la différence de deux pertes successives di-

minue à mesure que l'on s'éloigne de la surface d'entrée.

Passons à l'influence exercée sur la transmission calorifique par la composition de la substance qui forme l'écran.

M. Prevost avait conclu de ses expériences décrites dans le Mémoire cité plus haut, que l'eau et le verre devaient transmettre les rayons de chaleur en quantité différente; car en faisant tomber la nappe d'eau entre une bougie allumée et un thermomètre à air très délicat, il n'obtenait aucun indice de chaleur transmise, à moins que la boule du thermomètre ne fût noircie, et encore l'élévation de température était-elle excessivement faible, tandis qu'une lame de verre, substituée à la nappe d'eau, donnait des effets assez apparens (1). Mais on lui objecta que la différence entre l'action de l'eau et du verre provenait du calorique de conductibilité sensible dans le dernier cas seulement. Delaroche remarqua plus tard qu'un carreau de verre verdâtre transmettait plus de chaleur qu'un plateau d'une autre espèce de verre parfaitement pur. Cependant, comme la première plaque était beaucoup plus mince que la seconde, on soutint que la différence des effets tenait à la différence d'épaisseur (2). Enfin, quelque temps après la découverte du thermo-multiplicateur, nous fîmes, M. Nobili et moi,

(1) Voici, au reste, ses propres expressions : « Il paraît en « conséquence que l'eau ne laisse pas passer immédiatement « autant de calorique que le verre, ou moins qu'elle ne donne « passage de la sorte qu'à une partie de calorique plus subtile « que celle qui traverse le verre. » (Mem. cité plus haut, § 48)

(2) Voyez la note de la page 11.

quelques expériences sur l'huile d'olive, l'alcool, l'eau et l'acide nitrique, d'où il nous parut résulter que l'eau résistait avec plus de force que les trois autres liquides, au passage des rayons de chaleur provenant d'un fer chaud (1). Mais ces expériences ne doivent être considérées que sous l'aspect de simples essais tendant à montrer la facilité avec laquelle on peut employer le thermo-multiplicateur à toute sorte de recherches sur le rayonnement calorifique, car nous ne primes pas assez de précautions pour empêcher la propagation de la chaleur de conductibilité, et pour nous assurer que la température de la source était bien la même dans tous les cas. Ainsi, on croyait toujours, parmi les physiciens, que la portion de chaleur transmise immédiatement dans les substances solides ou liquides suivait les mêmes lois de la transmission lumineuse, et que, à parité de circonstances, les corps les plus diaphanes étaient ceux qui transmettaient la plus grande quantité de rayons calorifiques.

Les résultats que je vais rapporter me semblent mettre hors de doute une proposition fondamentale pour la théorie de la chaleur rayonnante, savoir, que la faculté de transmettre les rayons calorifiques n'est pas du tout en raison de la transparence des milieux; elle suit une autre loi qui, dans les corps privés de cristallisation régulière, paraît avoir beaucoup de rapports avec la réfrangibilité. Dans les cristaux, les phénomènes sont encore plus intéressans, puisqu'on y trouve des corps doués d'une

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, octobre 1831.

très grande transparence qui interceptent la presque totalité des rayons caloriques, tandis que d'autres agissent précisément en sens contraire. Ces propriétés se manifestent constamment, quelle que soit la température de la source, et deviennent encore plus singulières dans les basses températures, car alors on voit la simple chaleur rayonnante de la main traverser immédiatement un corps solide d'une épaisseur de plusieurs pouces..... mais n'anticipons pas sur les faits, et examinons avant tout les méthodes suivies dans cette troisième série d'expériences.

D'abord il est inutile de nous occuper de la manière dont les écrans solides ont été soumis au rayonnement et aux indications du thermo-multiplicateur, car tout se passait absolument comme dans les expériences précédentes. Quant aux liquides, ces corps sont généralement moins perméables à la chaleur rayonnante que les substances solides; il faut donc les rapprocher davantage du thermoscope pour avoir une transmission bien marquée; mais alors l'échauffement propre des molécules pourrait agir sur l'instrument, d'autant plus que les mouvemens qui se développent toujours dans les liquide inégalement chauffés transportent facilement les parties de la surface antérieure à la surface postérieure des couches exposées à la source de chaleur. Cet effet de conductibilité ne peut être détruit d'une manière générale en renouvelant sans cesse la matière de la couche interposée comme dans les expériences de M. Prevost; car il y a des liquides qu'on ne peut se procurer qu'en petite quantité; il y en a d'autres qui, en entrant dans l'air atmosphérique, y subissent des altérations plus ou

moins fortes et d'abondantes évaporations, d'où résultent des élévations ou des abaissemens de température très gênans pour des expériences de ce genre. L'artifice que j'ai employé pour éviter ces divers inconvéniens est fort simple. Il consiste à renfermer les liquides dans des récipiens de verre très aplatis, dont les deux grandes faces latérales sont parfaitement parallèles, et les dimensions dans le sens de la hauteur, quatre à cinq fois plus grandes que la surface de la pile thermo-électrique. On applique la partie inférieure de ces vases contre l'ouverture du tube qui enveloppe la face de l'appareil tournée vers la source; la chaleur arrêtée par la paroi antérieure du vase pénètre dans la première couche infiniment mince de liquide; mais cette couche, en s'échauffant, subit une certaine dilatation, devient plus légère que le reste de la masse du fluide, et monte immédiatement à la partie supérieure du vase d'où elle ne peut plus exercer aucune influence sur la pile; elle est remplacée par une seconde couche qui éprouve les mêmes effets, et ainsi de suite, de manière que par ces renouvellemens partiels de l'écran liquide, la partie du verre postérieur appliquée à l'ouverture du tube ne se trouve point en contact avec des molécules échauffées et se conserve pendant longtemps à la même température.

Il était extrêmement difficile de fabriquer en verre des vases plats à faces bien régulières, de même épaisseur partout et dont les parois opposées fussent exactement parallèles. Les châssis métalliques et les verres mastiqués étaient inapplicables à cause de l'action corrosive de divers liquides, je fis à cet égard bien des tentatives infructueuses, je pensais enfin que l'on pouvait appli-

quer ici le même procédé dont on se sert en optique pour mesurer l'indice de réfraction des substances liquides. A cet effet, je fis pratiquer des entailles de 2 centimètres de largeur sur 9 de longueur dans plusieurs morceaux d'une même glace sans tain, assez épaisse, et je posais contre les deux faces percées de chaque pièce des plaques provenant d'une autre glace beaucoup plus mince. On sait que la simple adhérence qui se développe entre les lames de verre polies suffit pour intercepter le passage des liquides. Cependant, pour plus de sûreté, j'introduisis chaque récipient entre deux cadres métalliques qui retiennent les verres minces à leurs places au moyen de quatre vis de pression situées sur les angles. Le liquide se verse dans l'intérieur de ces vases par une petite ouverture pratiquée à leur partie supérieure, et munie d'un bouchon en verre. Dans un pareil système, il ne peut s'élever aucun doute sur le parallélisme des parois et sur l'égale épaisseur des couches liquides.

J'ai divisé les résultats qui m'ont été fournis par les différens corps solides et liquides en plusieurs tableaux, chacun desquels porte en tête la mesure de l'épaisseur commune aux écrans employés et à côté de chaque substance les indications du thermo multiplicateur et les quantités de rayons transmis, rapportées au rayonnement total. Cette distribution, en permettant d'employer des lames d'épaisseurs diverses, a de plus l'avantage de présenter des groupes distincts de chaque classe de corps. Dans tous les cas, le rayonnement libre était de 30°. Pour lier entre eux les résultats de ces tableaux, j'ai joint au 2e et au 3e les nombres donnés par une plaque de verre de glace placée dans les mêmes circonstances que

les lames qui composent chaque groupe ; ainsi le verre inséré dans la table des liquides était compris entre les deux glaces minces des récipiens, et provenait de la glace épaisse qui avait servi à leur construction ; il possédait en conséquence l'épaisseur très exacte des couches liquides, et se trouvait comme elles en contact avec les deux glaces qui forment les parois des récipiens. Mais comme ces parois interceptent elles-mêmes une portion de chaleur, on approchait la lampe jusqu'à ce que l'on eût à travers le système des trois verres, la même indication de 19° que donnait le verre épais exposé seul au rayonnement ordinaire de 30°.

Tableau I.

VERRES INCOLORES (Épaisseur commune $1^{mm}88$)	DÉVIATIONS du GALVANOMÈTRE.	RAYONS TRANSMIS.
Foint d'ecran	30°,00	100
Flint de M. Guinand	22,90	87
Flint anglais	22,43	88
Flint français	22,38	64
Autre espèce	22,19	84
Verre de glace	21,89	62
Autre espèce	21,10	60
Autre espèce	20,78	59
Crown français	20,38	58
Verre à vitres	19,95	54
Autre espèce	18,58	52
Autre espèce	17,83	50
Crown anglais	17,22	43

Tableau II.

LIQUIDES. (Épaisseur commune 9mm,21.)	DÉVIATIONS du GALVANOMÈTRE.	RAYONS TRANSMIS
Verre de glace	19°,10	53
Carbure de soufre (incolore)	21 ,36	63
Chlorure de soufre (fortement coloré en rouge brun)	21 ,83	63
Protochlorure de phosphore (incolore)	21 ,80	62
Hydrocarbure de chlore (incolore)	23 ,21	37
Huile de noix (jaune)	11 ,10	31
Essence de terebenthine (incolore)	10 ,65	31
Essence de romarin (incolore)	10 ,46	30
Huile de colza (jaune)	10 ,84	30
Huile d'olive (jaune verdatre)	10 ,35	30
Naphte naturel (jaune brun léger)	6 ,77	26
Baume de copahu (jaune brun assez prononcé)	6 ,69	26
Essence de lavande (incolore)	6 ,26	26
Huile d'œillet (jaunâtre très léger)	5 ,26	26
Naphte rectifié (incolore)	6 ,10	28
Ether sulfurique (incolore)	7 ,54	21
Acide sulfurique pur (incolore)	6 ,15	17
Acide sulfurique de Nordhousen (brun assez prononcé)	6 ,04	17
Hydrate d'ammoniaque (incolore)	6 ,47	15
Acide nitrique pur (incolore)	5 ,86	15
Alcool absolu (incolore)	5 ,80	15
Hydrate de potasse (incolore)	4 ,63	13
Acide acétique rectifié (incolore)	4 ,25	12
Acide pyro-ligneux (légèrement coloré en brun)	4 ,08	12
Eau sucrée (incolore)	4 ,20	12
Eau chargée d'alun (incolore)	4 ,16	12
Eau salée (incolore) (1)	4 ,15	12
Blanc d'œufs (légèrement coloré en jaune)	4 ,00	11
Eau distillée	3 ,80	11

(1) On a employé pour cette solution des morceaux de sel gemme bien diaphanes : on en peut dire autant pour la dissolution précédente : du reste, l'eau en était complètement saturée.

Tableau III.

CORPS CRISTALLISÉS. (Épaisseur commune 2mm,62.)	DÉVIATIONS du GALVANOMÈTRE	RAYONS TRANSMIS
Verre de glace	21°,60	62
Sel gemme (diaphane)	28,42	92
Spath d'Islande (diaphane)	21,60	62
Autre espèce (diaphane)	21,30	61
Cristal de roche incolore (diaphane)	21,64	62
Cristal de roche *enfumé* (diaphane fortement coloré en brun)	20,25	57
Topaze incolore du Brésil (diaphane)	19,18	54
Carbonate de plomb (diaphane)	18,35	52
Agate blanche (translucide)	12,48	35
Baryte sulfatée (diaphane louche veiné)	11,72	33
Aigue marine (diaphane légèrement coloré en bleu)	10,16	29
Agate jaune (translucide coloré en jaune)	10,10	28
Borate de soude (translucide)	9,87	28
Tourmaline verte (diaphane coloré en vert)	9,54	27
Adulaire (diaphane louche veiné)	8,30	24
Chaux sulfatée (diaphane)	7,15	20
Chaux fluatée (diaphane louche veiné)	5,40	15
Acide citrique (diaphane)	5,15	15
Sardoine (translucide)	4,98	14
Carbonate d'ammoniaque (diaphane louche à stries	4,60	13
Tartrate de potasse et de soude (diaphane)	4,40	12
Alun *de glace* (diaphane)	4,36	12
Sulfate de cuivre (diaphane fortement coloré en bleu)	0,00	0

Tableau IV.

VERRES COLORÉS (Épaisseur commune 1mm85.)	DÉVIATIONS du GALVANOMÈTRE.	RAYONS TRANSMIS.
* Violet foncé	18°,62	53
Rouge jaunâtre (plaqué)	18 ,56	58
Rouge pourpre (plaqué)	18 ,10	51
* Rouge vif	16 ,54	47
Violet pâle	16 ,08	45
Orangé rouge	15 ,48	44
Bleu clair	15 ,00	40
Jaune foncé	14 ,12	40
* Jaune brillant	12 ,08	34
Jaune doré	11 ,75	33
* Bleu foncé	11 ,60	33
* Vert pomme	8 ,15	28
Vert minéral	8 ,00	23
Bleu très foncé	6 ,26	18

Il suffit de parcourir rapidement le 2e et le 3e tableau pour sentir toute la vérité de la proposition que nous avons énoncée, savoir que *la faculté que possèdent les corps de se laisser traverser par la chaleur rayonnante n'a aucun rapport avec leur degré de transparence.*

En effet, le chlorure de soufre liquide rouge-brun assez foncé transmet beaucoup plus de rayons calorifiques que les huiles grasses de noix, d'olive, de colza, douées d'une teinte plus claire, tandis que ces mêmes huiles, quoique d'une couleur jaune bien prononcée, sont plus perméables à la chaleur rayonnante que beaucoup d'autres liquides parfaitement limpides, tels que les acides sulfurique et nitrique concentrés, l'éther, l'alcool et l'eau. Il en est de même pour les corps solides ou l'on voit le sulfate de chaux, l'acide citrique, et d'autres sub-

tances très diaphanes qui laissent passer beaucoup moins de chaleur que d'autres corps colorés ou translucides, tels que l'aigue marine, l'agate, la tourmaline, le borax, l'adulaire et la baryte sulfatée.

Mais rien n'est plus propre à mettre en évidence le peu d'effet de la transparence sur la transmission calorifique que la comparaison des effets obtenus sur l'alun *de glace* (1) et le cristal de roche *enfumé*. La table montre que, pour ces substances comme pour les autres que nous venons de citer, la faculté de transmettre les rayons de chaleur est en sens contraire de la faculté de transmettre les rayons de lumière. J'ai voulu voir jusqu'où pouvait s'étendre ce rapport inverse des transmissions calorifiques et lumineuses en variant les épaisseurs de manière à produire tout l'avantage du côté de la lumière et toute la perte du côté du calorique. On soumit à l'épreuve une lame d'alun bien polie et parfaitement diaphane ayant un seul millimètre et demi d'épaisseur, et un cristal de roche *enfumé* dont l'épaisseur dans le sens des faces polies était de 86 millim.; la couleur brune de ce cristal était tellement prononcée, qu'en le posant sur une page imprimée en gros caractères et exposée au grand jour, on ne pouvait même pas distinguer les simples traces des lettres; le papier et les caractères se confondaient complètement et formaient une seule teinte noire. Cependant ce cristal transmettait encore 19°, tandis que la lame mince d'alun ne donnait que 6°.

Un corps peut donc être *presqu'opaque* et livrer un

(1) C'est le nom de commerce que l'on donne aux cristaux d'alun très diaphanes.

passage très aisé aux rayons de chaleur ; il peut être très diaphane et intercepter la plus grande partie de ces rayons. Il faut donc distinguer avec soin les corps de facile transmission calorifique des corps de facile transmission, lumineuse et désigner les premiers par des dénominations différentes de celles que l'on donne aux seconds. Je crois qu'il conviendra de les appeler *transcaloriques* ou *diathermanes* (1) par analogie avec les mots transparent et diaphane que l'on emploie pour les corps doués de la même propriété relativement à la lumière.

D'après ce que nous avons vu sur le cristal de roche enfumé, on serait tenté de demander s'il existe des substances transcaloriques et totalement opaques. On ne saurait répondre à cette question sans avoir essayé l'effet du rayonnement calorifique sur tous les corps connus, ce que je suis loin d'avoir fait. Je dirai seulement que l'acide pyro-ligneux brut et le baume du Pérou, qui sont d'une opacité presque complète, donnent encore des transmissions sensibles de chaleur rayonnante. Mais toutes les substances diathermanes que j'ai soumises à l'expérience se trouvent comprises dans la classe des corps doués de quelque degré de transparence. Les métaux, les bois, les marbres qui interceptent les rayons de lumière en totalité arrêtent aussi en totalité les rayons de chaleur. D'autres corps tels que la carbure de soufre, le sel gemme, le spath d'Islande laissent passer en même temps les rayons de l'un et de l'autre agent. Un certain

(1) Le premier mot n'a pas besoin d'explication. Le second dérive de διὰ à *travers* et θερμαίνω *chauffer*, à l'imitation de diaphane composé de διὰ et φαίνω *paraître*.

degré de transparence est donc *probablement* une des conditions nécessaires pour que la transmission calorifique ait lieu (1), mais elle ne peut devenir abondante qu'avec le concours d'une autre qualité, et cette qualité varie selon que les corps sont cristallisés ou privés de cristallisation. En effet, dans les verres et les liquides, elle suit évidemment l'ordre des réfrangibilités, car le flint, plus réfringent que le crown, se laisse aussi traverser plus facilement par le rayonnement calorifique. Le carbure de soufre est en même temps plus réfringent et plus *diathermane* que l'essence de térébenthine; on peut en dire autant pour la térébenthine relativement à l'huile d'olive, et ainsi de suite jusqu'à l'eau pure, liquide doué de la moindre réfrangibilité et de la moindre transmission. Il est bien vrai que le verre paraît dans les tables presqu'autant diathermane que le carbure de soufre, quoique doué d'une réfrangibilité beaucoup moindre, mais cette égalité n'est qu'apparente : pour s'en convaincre, il suffit de rappeler la manière dont les liquides ont été soumis aux expériences. Avant de parvenir à la couche liquide, il faut que les rayons traversent la parois antérieure du vase qui la contient, or les verres ne donnent qu'une transmission de 21 à 22 sur 35,3. Ainsi il ne pourra pénétrer dans l'intérieur qu'un rayonnement de cette force; le liquide aura beau trans-

(1) J'ai trouvé plus tard que le verre noir complètement opaque, employé dans la construction des miroirs pour la polarisation de la lumière, transmet une quantité notable de rayons calorifiques. Ces *rayons obscurs* émergens du verre noir peuvent être employés à des expériences fort curieuses que nous rapporterons dans le second Mémoire.

mettre tous les rayons qui lui parviennent, il ne sortira jamais du récipient une quantité supérieure à 22. Cette explication se trouve confirmée d'une manière frappante par les transmissions du chlorure de soufre et du protochlorure de phosphore. Les indices de réfraction de ces deux liquides, quoique peu connus, sont certainement supérieurs à celui du verre, et ont des valeurs différentes, ce qui entraîne très probablement des différences dans les quantités de chaleur transmises, et cependant ces quantités dans les tables paraissent toutes les deux égales à la transmission du carbure de soufre.

Il y a bien quelques anomalies réelles dans la transmission du baume de copahu et de l'éther sulfurique. Mais les différences sont très faibles, elles dérivent probablement de quelque légère erreur dans la mesure de la transmission ou de la réfrangibilité, et la proportionnalité de ces deux élémens est si patente et se vérifie dans un si grand nombre de cas qu'on peut la retenir comme une loi générale pour les liquides, les verres et probablement pour tous les corps privés de cristallisation régulière.

Mais cette loi se trouve tout-à-fait en défaut relativement aux corps cristallisés. Nous voyons en effet le carbonate de plomb, substance très réfringente et incolore, transmettre moins de chaleur que le spath d'Islande et le cristal de roche qui lui sont de beaucoup inférieurs dans l'ordre de réfrangibilité; tandis que le sel gemme, ayant à peu près la même transparence et le même indice de réfraction que l'acide citrique et l'alun, donne une transmission calorifique six à huit fois plus grande.

Les corps diaphanes et incolores contenus dans la

troisième table sont au nombre de neuf, savoir : le sel gemme, le spath d'Islande, le cristal de roche, la topaze, le carbonate de plomb, la chaux sulfatée, l'acide citrique, le tartrate de potasse et de soude, et l'alun. Ces cristaux transmettent les quantités de chaleur suivantes :

(1) 92, 62, 54, 52, 20, 15, 12.

D'aussi grandes différences dans des corps de même aspect, semblent tenir plutôt à la structure particulière de chaque cristal qu'à la composition chimique des molécules ; car un bloc de sel marin ordinaire réduit en plaques, arrête tout-à-fait le rayonnement calorifique : et d'ailleurs on voit par le 2e et 3e tableau que la transmission de l'eau pure augmente à peu près de la même quantité lorsqu'on y fait dissoudre de l'alun ou du sel gemme, substances qui à l'état solide transmettent des

(1) Les personnes qui ne possèdent pas un appareil thermoscopique semblable à celui dont nous nous sommes servi, pourront se convaincre facilement que le sel gemme transmet presque toute la chaleur rayonnante qui tombe à sa surface, en fixant verticalement sur un même support une lame de cette substance et une lame de verre ou d'alun d'égales dimensions, et en approchant le support tout près du feu d'une cheminée. Si on laisse les choses dans cet état pendant 5 à 6 minutes, le verre s'échauffe au point de devenir brûlant, tandis que le sel gemme passé sur les parties les plus délicates de la main n'y produit aucune sensation de chaleur. Ces différences de température sont bien réelles et pas apparentes, comme il arrive lorsqu'on touche du bois et du marbre exposés au soleil. Pour le montrer il suffit de poser des morceaux de cire ou de suif sur les deux corps : on les verra fondre rapidement sur le verre et conserver l'état solide sur le sel gemme. On peut aussi démontrer d'une manière directe et sans besoin de thermo-multiplica-

quantités si différentes de chaleur. Mais on n'aperçoit aucune relation entre la faculté de transmettre la chaleur et la forme primitive ou secondaire de la cristallisation.

M. Mitscherlich a trouvé que les cristaux ne se dilatent pas également dans toutes leurs directions, lorsqu'on les soumet à l'action de la chaleur. Quoiqu'un tel effet ne provienne point du calorique rayonnant, on pouvait penser toutefois qu'une différence dans le sens suivant lequel on coupe les plaques sur le cristal, produirait une différence de transmission. J'ai fait tailler des lames d'égale épaisseur sur du cristal de roche dans toutes les principales directions relativement aux axes de ce cristal; la transmission a été constante pour tous les cas. J'ai obtenu le même résultat sur le spath d'Islande.

Le calorique rayonnant peut traverser de très grandes épaisseurs d'un corps cristallisé. On dirait même que les rayons souffrent dans l'intérieur de ces corps une déperdition moindre que dans les masses de verre et de liquide. En effet, on a vu la déviation passer seulement de 21°,6 à 19°, en augmentant de 57 à 58 fois l'épaisseur primitive d'un cristal de roche enfumé.

J'ai exposé au rayonnement calorifique un morceau de spath d'Islande de 92 millim. de longueur (1); la dé-

---

teur, la grande transmission du sel gemme relativement aux autres substances diaphanes. A cet effet, il suffit de rapprocher les deux lames dans le même plan et de placer derrière elles deux tubes métalliques au fond desquels sont fixées les boules noircies de deux thermomètres ordinaires d'égale sensibilité. On présente un boulet rouge à une certaine distance des lames. Le thermomètre correspondant à la lame d'alun monte d'un seul degré pendant que l'autre en parcourt 8 à 10.

(1) Cette belle pièce a été envoyée par M. OErsted à M. Ba-

viation qui était de 21°,8 à travers une plaque de 2mm,6 de la même substance n'est tombée qu'à 18°,5, c'est-à-dire que la diminution de l'effet n'a été que d'environ un septième pour une augmentation d'épaisseur égale à 35 fois la quantité primitive. L'expérience s'est trouvée encore plus piquante sur le sel gemme où je n'ai pu constater aucune influence de l'épaisseur sur la transmission, car les morceaux de 2 millim. m'ont donné absolument la même déviation galvanométrique que des pièces de 30 et de 40.

Il résulte de ces observations que les nombres de la deuxième colonne de la table des cristaux qui expriment les rapports des transmissions calorifiques de ces corps réduits à une épaisseur commune de 2mm,6 peuvent servir aussi pour représenter approximativement les mêmes rapports lorsque ces corps auront des épaisseurs communes supérieures à une telle limite. Je dis approximativement, car pour déterminer les vraies *transmissions spécifiques*, il faudrait connaître la loi exacte des déperditions aux différens points des milieux. Si les pertes rapportées aux quantités de chaleur qui parviennent à chacune des tranches égales dans lesquelles on peut concevoir le milieu partagé, étaient constantes, l'intensité des rayons diminuerait en progression géométrique pour des couches croissant en progression arithmétique, et pour savoir de combien une substance est plus diathermane qu'une autre, il faudrait varier les épaisseurs relatives des lames jusqu'à ce que l'on obtînt la même trans-

binet, qui a eu la bonté de me la prêter, ainsi que plusieurs des cristaux cités dans le cours de ce mémoire.

mission dans les deux cas; le rapport cherché serait l'inverse des épaisseurs qui produisent l'égalité d'action (1). Or, nous avons vu que cette constance de perte n'existe point. Mais dans le cas particulier des corps cristallisés, il y a de si petites différences d'effets lorsqu'on augmente l'épaisseur au-delà de 3 millim., que les rapports que l'on obtiendrait en opérant sur des écrans plus épais, ne doivent pas différer beaucoup de ceux que nous avons trouvés.

Mais quand même on serait parvenu à déterminer les transmissions spécifiques des différentes substances, on n'aurait pas encore résolu la question d'une manière générale, car nous verrons dans le second Mémoire que si, en variant la température de la source calorifique, on ne change pas l'ordre des transmissions, on altère totalement les rapports de ces quantités. Pour en donner une idée, il suffira de rappeler ce que j'ai avancé tantôt relativement à l'action des rayons lancés par une source peu élevée de température sur certaines substances, savoir, que la simple chaleur rayonnante du corps humain peut traverser immédiatement un cristal donné; ce cristal, c'est le sel gemme.

On sait que les rayons caloriques de la main sont complètement arrêtés par le verre; donc le rapport de transmission calorifique entre le verre et le sel gemme qui à la température d'une lampe d'Argant est 62 : 92, devient celui de l'unité à l'infini lorsqu'on considère les

(1) Voir pour la démonstration de cette proposition, Bouguer, *Traité d'optique sur la gradation de la lumière*, Paris, 1760, liv. III, sect. 1re, art. 1, 2, 3 et 4.

effets produits par les sources douées d'une basse température.

Dans tout ce qui précède, nous avons fait abstraction des couleurs, ou pour mieux dire, nous ne les avons considérées que relativement à la diminution de transparence ou à l'opacité plus ou moins grande qu'elles introduisent toujours dans les substances diaphanes (1).

Il faut maintenant les étudier d'une manière spéciale,

---

(1) Un physicien célèbre me disoit dernièrement que vouloir comparer entre elles les intensités des couleurs différentes, c'étoit chercher une comparaison entre deux élémens hétérogènes, ce qui est absurde. Sans entrer en aucune discussion sur le degré d'exactitude d'une telle assertion, je me permettrai cependant de faire remarquer que dans certains cas, on convient *unanimement* qu'une teinte est plus ou moins claire qu'une autre de nature différente, sans que des idées métaphysiques se soient jamais élevées pour détruire l'opinion générale. Prenons pour exemple le spectre solaire : n'a-t-on pas admis de tout temps que le *maximum* de clarté se trouve sur le jaune, et que l'*intensité lumineuse* est décroissante de chaque côté de cette bande? Le principe que j'énonce ci-dessus me paroît de la même évidence : lorsque j'avance que les couleurs introduisent *toujours de l'opacité* dans les substances diaphanes, tout le monde me comprend. Ayez de l'eau pure entre deux lames parallèles de verre incolore, placez l'œil d'un côté et de l'autre une écriture que vous éloignerez jusqu'au point où elle cesse d'être lisible. Maintenant substituez à l'eau, du vin, de l'huile ou un autre liquide *diaphane et plus ou moins coloré*, la distance à laquelle l'écriture sera lisible deviendra d'autant moindre que la teinte sera *plus foncée*, et cela indépendamment de la nature de la couleur. Ainsi, lorsque l'écriture se trouvera lisible à la même distance pour un liquide jaune et pour un liquide rouge, ces deux milieux auront pour nous le même *degré de transparence*.

et déterminer l'influence qu'elles exercent sur la transmission. C'est l'objet du 4e tableau. Les verres marqués d'un astérisque donnent les teintes les plus pures, et qui approchent le plus des couleurs prismatiques correspondantes. Voici comme je m'en suis assuré par l'expérience :

Ayant introduit au moyen d'un héliostat un faisceau horizontal de rayons solaires dans une chambre obscure, je l'ai partagé en deux en le faisant passer à travers deux ouvertures pratiquées dans un écran opaque. Je faisais tomber un des faisceaux sur un prisme vertical, et l'autre sur le verre coloré que je voulais essayer. On avait ainsi le spectre solaire jeté de côté et une tache colorée dans le sens des rayons directs. Pour amener cette tache à côté de la couleur correspondante du spectre, je plaçais derrière le verre un second prisme vertical, que je tournais plus ou moins jusqu'à ce que l'effet fût obtenu. On compare assez bien les deux teintes analogues quand elles sont rapprochées, et on juge en même temps si la couleur du verre est plus ou moins pure par la force des nouvelles teintes qui se développent toujours dans le passage des rayons colorés du verre à travers le prisme. Sur quatorze couleurs choisies entre plusieurs espèces de verres, je n'en ai pu trouver que cinq approchant beaucoup des couleurs prismatiques et donnant des teintes secondaires très faibles. Ces teintes n'étaient absolument insensibles que pour le verre rouge.

Il y a une autre manière d'apprécier la coloration des milieux diaphanes, et je ne l'ai point négligée. Elle consiste à faire traverser les verres par les rayons correspondans du spectre; le passage a lieu avec une déperdition très faible lorsque les teintes sont bien pures. Or,

en fixant à des distances convenables un côté de mes cinq lames de verre sur le bord d'un carton exposé au faisceau coloré du prisme, j'ai trouvé que chaque rayon prismatique traverse le verre de même couleur sans y souffrir aucune perte; du moins l'altération produite par ces verres sur les rayons solaires correspondans est à peu près la même dans tous les cas. On le déduit de la comparaison entre les rayons prismatiques qui tombent directement sur le mur et ceux qui y parviennent après avoir traversé les verres colorés; les ombres apportées par ces derniers rayons sont très légères et presqu'insensibles. Elles sont au contraire très prononcées dans tout autre disposition. Si on substitue, par exemple, le verre violet au rouge, on a une tache presque noire sur le mur; donc, si le violet n'est point parfaitement pur, au moins ne laisse-t-il passer qu'une quantité de rayons rouges très inférieure à celle qui traverse le verre de cette dernière couleur.

On sait que dans le spectre solaire donné par un prisme de verre ordinaire, la plus forte chaleur se trouve sur le rouge, et que les températures des teintes intermédiaires vont en décroissant jusqu'au violet. Cette distribution calorifique dans les rayons colorés séparés par la *force de réfraction* des prismes, existe-t-elle encore lorsque ces rayons sont séparés par la *force d'absorption* des matières colorantes?

Pour le savoir, il n'y a qu'à comparer aux diverses températures du spectre les nombres représentant les transmissions calorifiques de nos cinq verres colorés, les voici:

Violet 53, rouge 47, jaune 34, bleu 33, vert 26.

L'ordre des couleurs relativement à leurs degrés de chaleur et les rapports numériques de ces mêmes degrés sont tellement altérés, que la lumière violette, qui dans le spectre possède une température vingt-cinq ou trente fois inférieure à celle de la lumière rouge, se trouve ici douée d'une température supérieure. On ne pourrait pas expliquer une telle différence en admettant que, dans la transmission du verre violet, il passe aussi une forte quantité de rayons rouges; car ces rayons devraient s'y trouver en plus grande proportion que dans la transmission du verre rouge, ce qui est impossible, d'après les expériences précédentes.

Ces faits semblent contraires à l'opinion des physiciens qui admettent que dans la chaleur lumineuse les mêmes rayons excitent simultanément les deux sensations de lumière et de chaleur. On les concevrait avec facilité en supposant que le calorique et la lumière sont des agens distincts. Alors on dirait que dans le prisme la force de réfraction agit inégalement sur les différens rayons caloriques, comme elle opère plus ou moins sur les différens rayons lumineux, et jette ainsi certaines quantités de chaleur sur les mêmes plages qui sont occupées par les diverses couleurs du spectre; mais que dans les verres colorés, et généralement dans les corps plus ou moins diathermanes, la force d'absorption n'opère pas de la même manière que la force de réfraction, éteignant tantôt plus de chaleur que de lumière, et d'autres fois plus de lumière que de chaleur.

Mais les partisans de l'identité des deux agens répondront que les différences observées dans les *transmissions* calorifique et lumineuse des milieux, diaphanes

ou colorés, dérivent des rayons de chaleur obscure qui se trouvent mêlés en grande quantité aux rayons de lumière lancés par la flamme.

Pour juger jusqu'à quel point il est permis de soutenir l'une ou l'autre hypothèse, il faudrait avoir des données qui nous manquent maintenant. Nous reprendrons ce sujet à la fin du prochain mémoire, et nous terminerons celui-ci en citant une application fort remarquable des résultats numériques contenus dans les tableaux précédens.

On savait déjà, par les belles expériences de Seebeck, que le *maximum* de température du spectre solaire change de place avec la composition chimique de la substance dont le prisme est formé. Cet habile physicien observa que le plus haut degré de chaleur, qui avait lieu sur le rouge dans le spectre fourni par un prisme de crown-glass, passait sur l'orangé en employant un prisme creux de verre rempli d'acide sulfurique, et se transportait sur le jaune lorsqu'on se servait du même prisme rempli d'eau pure (1).

Je trouvais, il y a quelques mois, que les rayons calorifiques disséminés sur les couleurs données par un prisme ordinaire, ne subissent pas la même altération en passant au travers d'une couche d'eau; la perte varie en sens inverse de la réfrangibilité, de manière que les rayons les plus réfrangibles passent en totalité et les moins réfrangibles sont entièrement arrêtés par le liquide (2).

(1) *Jahrbuch der chemie und physick von Schweigger*, vol. 10.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, décembre 1831.

Cette expérience me conduisit à une explication très simple des résultats obtenus par Seebeck.

La chaleur solaire qui se présente à la face antérieure du prisme d'eau comprend des rayons fournis de toute sorte de réfrangibilité. Or, le rayon qui possède le même indice de réfraction que la lumière rouge souffre, en traversant le prisme, une perte proportionnellement plus forte que le rayon doué de la réfrangibilité de la lumière orangée, et celui-ci perd moins dans la traversée que la chaleur du jaune. Ces rapports croissans dans les déperditions des rayons moins réfrangibles, tendent évidemment à faire marcher le *maximum* du rouge au violet; il pourra donc s'arrêter sur le jaune.

En supposant l'action de l'acide sulfurique analogue et moins énergique que celle de l'eau, on comprendra de même pourquoi, dans le cas du prisme d'acide, le *maximum* se fixe sur l'orangé.

Enfin, le verre lui-même, dont les prismes ordinaires sont composés, doit opérer de la même manière, et produire sur chaque rayon une perte inversement proportionnelle à son degré de réfrangibilité. Donc, si on employait dans la construction du prisme une substance *moins active* que le verre commun, les pertes seraient affaiblies en plus grande proportion pour les rayons moins réfrangibles; ceux-ci *gagneraient* donc sur les rayons plus réfrangibles, et le *maximum* marcherait dans la direction opposée à la précédente, c'est-à-dire du violet au rouge.

C'est précisément ce qu'ont obtenu Herschel, Englefield et Seebeck en opérant sur des prismes de flint, car

le *maximum* est passé dans l'espace obscur tout près de la dernière bande rouge du spectre.

Comparons ces effets aux nombres qui représentent les transmissions calorifiques : nous trouverons que le *maximum* de chaleur, en partant du jaune où il se trouve placé pour le prisme d'eau, s'en éloigne *toujours dans le même sens* à mesure que l'on construit le prisme avec des substances plus diathermanes. Il sort déjà un peu du spectre lorsqu'on substitue le flint au crown. En admettant l'exactitude d'une telle théorie, la ligne de plus grande chaleur devra donc se dégager tout-à-fait des couleurs et se porter dans l'espace obscur sur une bande très éloignée de la limite rouge, lorsqu'on se servira du sel gemme, substance qui est bien plus diathermane relativement au flint, que le flint par rapport au crown. J'ai tenté l'expérience ; elle a complètement réussi. J'ai trouvé que le *maximum* de température pour le spectre dérivé du prisme de sel, était plongé dans l'espace obscur à une distance de la dernière bande, égale *pour le moins* à la distance qui sépare en sens contraire le vert-bleu du rouge. Je ne puis assigner pour le moment des mesures plus exactes, car je n'ai d'abord opéré que sur un fort petit prisme, et lorsque par la suite je me trouvais avoir de plus belles pièces à ma disposition la saison ne me permit point de reprendre ce curieux résultat et de l'étudier avec plus de précision. Mais l'effet a été si marqué dans mon expérience et si constant dans plusieurs répétitions successives, que je le regarde comme décisif, et qu'il ne me reste pas le moindre doute sur le grand éloignement du *maximum* de chaleur à la dernière bande

des rayons rouges dans le spectre donné par le sel gemme (1).

La distribution des températures dans le spectre solaire est donc un phénomène tout-à-fait dépendant de l'ordre que nous avons trouvé pour les transmissions calorifiques des substances diaphanes.

Ce phénomène constitue déjà une relation frappante entre les propriétés des rayons calorifiques du soleil et celles de la chaleur rayonnante des corps terrestres ; mais nous verrons paraître des rapports encore plus intimes entre ces deux espèces de rayons, lorsque nous examinerons les altérations qui s'opèrent dans les transmissions calorifiques par l'effet du changement de température de la source rayonnante.

---

(1) J'ai obtenu depuis le même résultat avec cinq prismes de sel gemme dont les angles réfringens varient entre 30° et 70°. Ces prismes proviennent de plusieurs pièces tirées des mines de Cardona, de Wieliecza et de Vicq : ils ont été découpés en différens sens relativement à l'axe de cristallisation. Je rapporterai les données numériques dans un travail spécial sur l'analyse des rayons calorifiques solaires.

(Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, Mai 1833.)

IMPRIMERIE DE MADAME VEUVE THUAU,
Rue du Cloître Saint Benoît, n° 4.